



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Mecánica

Diseño y cálculo de los elementos mecánicos necesarios
para el correcto funcionamiento de una unidad
depropanizadora”

“Design and calculation of the mechanical elements necessary for the correct
operation of a depropanizer unit”

Autor: Carlos Rodríguez Jiménez

Tutor: Mario Matas Hernández

Julio 2021

Dedicatoria:

En primer lugar, se lo quería dedicar a mi abuela Elisa, que se fue sabiendo que iba a ser ingeniero.

También se lo quiero agradecer a toda mi familia, por aguantarme y apoyarme incondicionalmente. A mi hermano Vitor, por bajarme a la tierra de vez en cuando y compartir conmigo todo lo que tiene. A mi madre Conchi, por ser refugio, luz y energía siempre. A mi padre Antonio, por trabajar desde que tengo memoria tan duro para que hoy pueda estar terminando este proyecto. Sois mi ejemplo, sin vosotros no estaría aquí.

¡¡¡Familia, lo hemos conseguido, ya soy ingeniero!!

Ha sido una aventura bellísima en Béjar, a la que estoy agradecido por cómo me ha cuidado y por la gente maravillosa que ha hecho que se cruce en mi camino; Gabino, Wiki, Angela, Andrés, Nelson, Mary, Pacheco, y muchos más que aquí no entran, GRACIAS!! Gracias por esos atardeceres en la Fuente del Lobo al salir de la biblioteca, habéis conseguido que no perdiese la cabeza.

Hoy no estaría aquí de no ser por todxs esxs profesorxs que apostaron por mí, que no me dejaron atrás y me dedicaron un ratito más. Gracias a Alicia y Sara que dieron la cara por que consiguiere mis sueños y me presentase a selectividad. Y también agradeceré a todxs aquellxs que no creyeron en mí, habéis sido puta gasolina para avanzar. Soy lo que soy gracias a todos, a los buenos y a los malos, GRACIAS!!

En este camino, cabe un agradecimiento especial a mi tutor del proyecto, profesor y amigo, Mario Matas Hernández, por su paciencia infinita conmigo, sus ánimos en los peores momentos y los retos que me ha puesto me han ayudado a superarme.

Merecen reconocimiento todo el PAS de la E.T.S.I.I. de Béjar, que me han tratado desde el primer día como a alguien de su familia, y que sin ellxs no algún año me habría quedado sin matricular. Gracias.

También se lo quiero agradecer a la empresa CT3 Ingeniería por confiar en mi para darme los cursos que me han ayudado a realizar este trabajo y en especial a Francisco Sarti Balsalobre, por su atención, actitud y ganas de ayudar, que me ha mostrado. De no haber sido por ellos, no habría realizado este proyecto.

Después de toda la vida estudiando, parece mentira que esta etapa se acabe. Cuantos años, cuantas aventuras, cuantos sueños. Pero aquí se termina. Solo tengo agradecimientos para todos.

PD: Gracias también a Manu y Javi que me llevan sufriendo con los estudios muchos años y ahora mismo me están esperando en una garganta del Jerte a que termine y presente este documento.

0. ÍNDICE



1. Memoria Descriptiva:

1. Introducción

- 1.1. Promotor
- 1.2. Ubicación

2. Objetivos principales del proyecto

3. Antecedentes

- 3.1. Requisitos
- 3.2. Datos de partida

4. Normativas

- 4.1. ASME B31.1
- 4.2. API 610 / ISO 13709:2003
- 4.3. EAE
- 4.4. CTE-EA

5. Unidad Depropanizadora

- 5.1. Procesos de separación de gases
- 5.2. Diagramas de flujo e instrumentos
 - 5.2.1. Diagrama de flujo del proceso
 - 5.2.2. Diagrama de flujo mecánico
 - 5.2.3. Diagrama de flujo de servicios públicos
- 5.3. Equipos mecánicos
 - 5.3.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora V-101
 - 5.3.2. Deposito acumulador → V-102
 - 5.3.3. Intercambiador hervidor → E-101
 - 5.3.4. Intercambiador enfriador → 01-E-102
 - 5.3.5. Bombas → P-101a & P-101b
- 5.4. TUBERIAS
 - 5.4.1. Línea 1 → 1-C30-8
 - 5.4.2. Línea 2 → 02-C30-10"
 - 5.4.3. Línea 3 → 03-C30-12"
 - 5.4.4. Línea 4 → 4-C30-10"
 - 5.4.5. Línea 5 → 5-C30-8"
 - 5.4.6. Línea 6 → 6-C30-10"
 - 5.4.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"
 - 5.4.8. Línea 9 → 9-C30-4"
 - 5.4.9. Línea 10 → 10-A15-6"
 - 5.4.10. Línea 11 → 11-A15-6"
 - 5.4.11. Línea 12 → 12-C30-4"
 - 5.4.12. Línea 13 → 13-A15-6"
 - 5.4.13. Línea 14 → 14-A15-6"
 - 5.4.14. Línea 15 → 15-A15-6"
 - 5.4.15. Línea 16 → 16-C30-2"
 - 5.4.16. Línea 17 → 17-A15-8"
 - 5.4.17. Línea 18 → 18-A15-8"
 - 5.4.18. Línea 19 → 19-A15-10"
 - 5.4.19. Línea 20 → 20-A15-10"
 - 5.4.20. Línea 21 → 21-A15-10"
 - 5.4.21. Línea 22 → 22-A15-10"



- 5.4.22. Línea 23 → 23-A15-2"
- 5.4.23. Línea 24 → 24-A15-2"
- 5.4.24. Línea 25 → 25-A15-3"
- 5.4.25. Línea 26 → 26-C30-3
- 5.4.26. Línea 27 → 27-C30-14"
- 5.5. BRIDDLES → medidor/controlador de nivel
 - 5.5.1. BRIDDLE #1
 - 5.5.2. BRIDDLE #2
- 5.6. Estación de válvulas de control
 - 5.6.1. Válvula de control
 - 5.6.2. Estación de válvulas de control
- 5.7. Elementos estructurales
 - 5.7.1. Rack
 - 5.7.2. Soportes
 - 5.7.3. Trunnio

2. Memoria Constructiva

1. Equipos

- 1.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora ☐ V-101
- 1.2. Deposito acumulador ☐ V-102
- 1.3. Intercambiador hervidor ☐ E-101
- 1.4. Intercambiador condensador ☐ E-102
- 1.5. Bombas P-101A y P-101B

2. Tuberías

- 2.1. Línea 1 → 1-C30-8"
- 2.2. Línea 2 → 02-C30-10"
- 2.3. Línea 3 → 03-C30-12"
- 2.4. Línea 4 → 4-C30-10"
- 2.5. Línea 5 → 5-C30-8"
- 2.6. Línea 6 → 6-C30-10"
- 2.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"
- 2.8. Línea 9 → 9-C30-4"
- 2.9. Línea 10 → 10-A15-6"
- 2.10. Línea 11 → 11-A15-6"
- 2.11. Línea 12 → 12-C30-4"
- 2.12. Línea 13 → 13-A15-6"
- 2.13. Línea 14 → 14-A15-6"
- 2.14. Línea 15 → 15-A15-6"
- 2.15. Línea 16 → 16-C30-2"
- 2.16. Líneas sobre el rack
 - 2.16.1. Línea 17 → 17-A15-8"
 - 2.16.2. Línea 18 → 18-A15-8"
 - 2.16.3. Línea 19 → 19-A15-10"
 - 2.16.4. Línea 20 → 20-A15-10"
 - 2.16.5. Línea 21 → 21-A15-10"
 - 2.16.6. Línea 22 → 22-A15-10"



- 2.16.7. Línea 23 → 23-A15-2"
- 2.16.8. Línea 24 → 24-A15-2"
- 2.16.9. Línea 25 → 25-A15-3"
- 2.16.10. Línea 26 → 26-C30-3
- 2.16.11. Línea 27 → 27-C30-14"
- 2.17. Briddle #1
- 2.18. Briddle #2
- 3. Estructuras**
 - 3.1. Rack
 - 3.2. Soporte corto w
 - 3.3. Soporte largo Ñ
 - 3.4. Trunnions
 - 3.4.1. Trunnion línea 7-C30-4"
 - 3.4.2. Trunnion línea 9-C30-4"
 - 3.4.3. Trunnion línea 11-A15-6"
 - 3.4.4. Trunnion línea 12-C30-4"
 - 3.5. Soporte extra para las bombas

3. Memoria justificativa

1. Tuberías

- 1.1. Simulación de las tuberías
 - 1.1.1. Línea simulada 1-C30-8"
 - 1.1.2. Línea simulada 4-C30-10"
 - 1.1.3. Línea simulada 5-C30-8"
 - 1.1.4. Línea simulada 6-C30-10"
 - 1.1.5. Líneas simuladas 7-C30-4" y 7-C30-6"
 - 1.1.6. Línea simulada 9-C30-4"
 - 1.1.7. Línea simulada 10-A15-6"
 - 1.1.8. Línea simulada 11-A15-6"
 - 1.1.9. Línea simulada 14-A15-6"
 - 1.1.10. Línea simulada 15-A15-6"

2. Estructuras

- 2.1. Viga transversal AB
 - 2.1.1. Viga transversal AB en Estado Limite Ultimo
 - 2.1.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio
- 2.2. Viga transversal CD
 - 2.2.1. Viga transversal CD en Estado Limite Ultimo
 - 2.2.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio
- 2.3. Pórticos del rack
 - 2.3.1. Dintel
 - 2.3.2. Pilar HI
 - 2.3.3. Pilar MN
 - 2.3.4. Pilar UV
 - 2.3.5. Placa de anclaje pilares del Rack.
- 2.4. Soporte corto W
 - 2.4.1. Soporte corto W en estado Limite Ultimo



- 2.4.2. Soporte corto W en Estado Limite de Servicio
- 2.4.3. Placa de anclaje del soporte corto W
- 2.4.4. Conclusiones soporte corto W
- 2.5. Soporte largo Ñ
 - 2.5.1. Soporte largo Ñ en Estado Limite Ultimo
 - 2.5.2. Soporte largo Ñ en Estado Limite de Servicio
 - 2.5.3. Placa de anclaje del soporte largo Ñ
 - 2.5.4. Conclusiones soporte largo Ñ
- 3. Bombas P-101 A & P-101 B**

4. Anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”

- 1. Que es CaePipe**
- 2. Como funciona CaePipe**
- 3. Como diseñar en CaePipe**
 - 3.1. Opciones de diseño
 - 3.2. Casos de carga
 - 3.3. Declarar materiales
 - 3.4. Declarar sección
 - 3.5. Declarar cargas del entorno
 - 3.6. Introducción del modelo
- 4. Simulación explicada de la Línea 1-C30-8”**
 - 4.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 4.2. Resultados de la línea según CaePipe
 - 4.2.1. Sorted stresses
 - 4.2.2. Code Compliance
 - 4.2.3. Flange report
 - 4.2.4. Support load summary
 - 4.2.5. Support load summary
 - 4.2.6. Element forces
 - 4.2.7. Displacements
 - 4.2.8. Frecuencias
 - 4.2.9. Mode Shapes
- 5. Simulación línea 4-C30-10”**
 - 5.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 5.2. Resultados del modelo
 - 5.2.1. Análisis de tensiones
 - 5.2.2. Cargas sobre los soportes
 - 5.2.3. Desplazamientos
 - 5.2.4. Frecuencias
- 6. Simulación línea 5-C30-8”**
 - 6.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 6.2. Resultados del modelo
 - 6.2.1. Tensiones
 - 6.2.2. Cargas en los soportes



- 6.2.3.Desplazamientos
- 6.2.4.Frecuencias
- 7. Simulación línea 9-C30-4"**
 - 7.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 7.2. Resultados del modelo
 - 7.2.1.Comparativa entre los modelos
 - 7.2.2.Resultados del modelo 9-C30-4"
- 8. Simulación línea 10-A15-6"**
 - 8.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 8.2. Resultados del modelo
 - 8.2.1.Tensiones
 - 8.2.2.Cargas en los soportes
 - 8.2.3.Desplazamientos
 - 8.2.4.Frecuencias
- 9. Simulación línea 11-A15-6"**
 - 9.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 9.2. Resultados del modelo
 - 9.2.1.Tensiones
 - 9.2.2.Cargas en los soportes
 - 9.2.3.Desplazamientos
 - 9.2.4.Frecuencias
- 10. Simulación línea 14-A15-6"**
 - 10.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 10.2. Resultados del modelo
 - 10.2.1. Tensiones
 - 10.2.2. Cargas en los soportes
 - 10.2.3. Desplazamientos
 - 10.2.4. Frecuencias
- 11. Simulación línea 15-A15-6"**
 - 11.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 11.2. Resultados del modelo
 - 11.2.1. Tensiones
 - 11.2.2. Cargas en los soportes
 - 11.2.3. Desplazamientos
 - 11.2.4. Frecuencias
- 12. Simulación línea 7-C30-X"**
 - 12.1. Simulación línea 7-C30-4"
 - 12.1.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 12.1.2. Resultados del modelo 7-C30-4"
 - 12.2. Simulación línea 7-C30-6"
 - 12.2.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 12.2.2. Resultados del modelo 7-C30-6"
- 13. Simulación línea 6-C30-10"**
 - 13.1. Simulación línea 6-C30-10" ORIGINAL
 - 13.1.1. Modelado de la línea en CaePipe
 - 13.1.2. Resultados del modelo
 - 13.2. Simulación línea 6-C30-10" RESOLUTIVO
 - 13.2.1. Resultados del modelo



14. Verificación bombas P-101A & P-101B

- 14.1. Simulación de las bombas
- 14.2. Caso A
 - 14.2.1. Bomba P-101-A
 - 14.2.2. Bomba P-101-B
- 14.3. Caso B
 - 14.3.1. Bomba P-101 A
 - 14.3.2. Bomba P-101 B

5. Anejo “Cálculo estructural”

1. Estructuras

- 1.1. Cálculo de acciones
 - 1.1.1. Acciones permanentes
 - 1.1.2. Cálculo de acciones variables
 - 1.1.3. Acciones accidentales
 - 1.1.4. Área de influencia
- 1.2. Hipótesis de calculo
 - 1.2.1. Combinación de acciones
 - 1.2.2. Acciones sobre los pórticos
 - 1.2.3. Combinación de acciones en viga transversal izquierda AB
 - 1.2.4. Combinación de acciones sobre viga transversal derecha CD
 - 1.2.5. Combinación de acciones sobre soporte corto W
 - 1.2.6. Combinación de acciones sobre soporte largo Ñ

2. Viga Transversal AB

- 2.1. Cálculos viga transversal AB en Estado limite Ultimo
 - 2.1.1. Reacciones plano YX
 - 2.1.2. Reacciones plano ZX
 - 2.1.3. Momentos en el plano YX
 - 2.1.4. Momentos en el plano ZX
 - 2.1.5. Resultados totales
 - 2.1.6. Diagramas de la viga transversal AB en ELU
 - 2.1.7. Dimensionamiento viga transversal AB
- 2.2. Cálculos viga transversal AB en Estado Límite de Servicio
 - 2.2.1. Resultados totales
 - 2.2.2. Diagramas de la viga transversal AB en ELS
 - 2.2.3. Deformaciones en la viga transversal AB en ELS

3. Viga transversal CD

- 3.1. Cálculos viga transversal CD en Estado limite Ultimo
 - 3.1.1. Reacciones plano YX
 - 3.1.2. Reacciones plano ZX
 - 3.1.3. Momentos en el plano YX
 - 3.1.4. Momentos en el plano ZX
 - 3.1.5. Resultados totales
 - 3.1.6. Diagramas de la viga transversal CD en ELU
 - 3.1.7. Dimensionamiento viga transversal CD
- 3.2. Cálculos viga transversal CD en Estado límite de Servicio



- 3.2.1.Resultados totales
- 3.2.2.Diagramas de la viga transversal CD en ELS
- 3.2.3.Deformaciones en la viga transversal CD en ELS
- 4. Pórtico**
 - 4.1. Pórtico tipo Estado Limite Ultimo ELU
 - 4.1.1.Dimensionamiento dintel
 - 4.2. Pórtico estado límite de Servicio ELS
 - 4.2.1.Deformaciones en el dintel
- 5. Pilar HI**
 - 5.1. Diagrama momentos y reacciones pilar HI
 - 5.2. Verificación del pilar HI
 - 5.2.1.Comprobación de sección
 - 5.2.2.Comprobación a pandeo
 - 5.2.3.Interacción de esfuerzos en piezas
 - 5.2.4.Verificación de Von Mises
- 6. Pilar MN**
 - 6.1. Diagramas de reacciones y momentos en el pilar MN
 - 6.2. Verificación del pilar MN
 - 6.2.1.Comprobación de sección
 - 6.2.2.Comprobación a pandeo
 - 6.2.3.Interacción de esfuerzos en piezas
 - 6.2.4.Verificación de Von Mises
- 7. Pilar UV**
 - 7.1. Diagrama momentos y reacciones pilar UV
 - 7.2. Verificación del pilar UV
 - 7.2.1.Comprobación de sección
 - 7.2.2.Comprobación a pandeo
 - 7.2.3.Interacción de esfuerzos en piezas
 - 7.2.4.Verificación de Von Mises
- 8. Soporte corto W**
 - 8.1. Cálculos analíticos del Soporte corto W en ELU
 - 8.1.1.Resultados soporte corto W en ELU
 - 8.1.2.Diagrama reacciones soporte corto W en ELU
 - 8.1.3.Verificación a sección
 - 8.1.4.Verificación a interacción de esfuerzos en piezas
 - 8.1.5.Comprobación a Von Mises
 - 8.2. Cálculos soporte corto W en ELS
 - 8.2.1.Verificación a Deformación
- 9. Soporte Largo Ñ**
 - 9.1. Cálculos analíticos soporte largo Ñ en ELU
 - 9.1.1.Resultados soporte Largo Ñ ELU
 - 9.1.2.Diagrama reacciones soporte Largo Ñ ELU
 - 9.1.3.Verificación a sección
 - 9.1.4.Verificación a interacción de esfuerzos en piezas
 - 9.1.5.Comprobación a Von Mises
 - 9.2. Cálculos analíticos soporte Largo Ñ en ELS
 - 9.2.1.Verificación a Deformación
- 10. Trunions**



- 10.1. Pandeo
 - 10.1.1. Trunnion de $\varnothing 100\text{mm}$ x 3mm para líneas de 4"
 - 10.1.2. Trunnion de $\varnothing 150\text{mm}$ x 4mm para líneas de 6"

11. Placas de anclaje

- 11.1. Placa de anclaje de los pilares del rack
- 11.2. Placa de anclaje del soporte corto W
- 11.3. Placa de anclaje del largo Ñ

12. Cálculos digitales de los elementos estructurales

- 12.1. Viga Transversal AB
 - 12.1.1. Resultados viga transversal AB
 - 12.1.2. Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB
- 12.2. Viga transversal CD
 - 12.2.1. Resultados viga transversal CD
 - 12.2.2. Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB
- 12.3. Pórtico
 - 12.3.1. Resultados pórtico
- 12.4. Soporte Corto W
 - 12.4.1. Resultados del soporte Corto W
 - 12.4.2. Representación gráfica de los resultados del soporte Corto W
- 12.5. Soporte Largo Ñ
 - 12.5.1. Resultados del soporte Largo Ñ
 - 12.5.2. Representación gráfica de los resultados del soporte Largo Ñ
- 12.6. Estructura Rack completa
 - 12.6.1. Resultados estructura Rack completa

6. Anejo “Digitalización en AVEVA E3D (Everything 3D)”

1. AVEVA Everything 3D

- 1.1. Introducción a AVEVA Everything 3D
- 1.2. Grupos de diseño
 - 1.2.1. General
 - 1.2.2. Equipment
 - 1.2.3. Piping
 - 1.2.4. Structures
 - 1.2.5. Supports

2. Modelado de cimientos y bancadas en AVEVA Everything 3D

3. Modelado de estructuras en AVEVA Everything 3D Desing

- 3.1. Piping Rack
- 3.2. Soporte largo Ñ
- 3.3. Soporte corto W

4. Modelado de equipos en AVEVA Everything 3D Desing

- 4.1. Acumulador de Reflujo V-102
- 4.2. Intercambiador Hervidor Reboiler E-101
- 4.3. Condensador de cabeza E-102
- 4.4. Bombas P101A y P101B
- 4.5. Torre de depropanizadora V-101

5. Modelado de las tuberías en AVEVA Everything 3D Desing



- 5.1. Línea 1 → 1-C30-8
 - 5.2. Línea 2 → 02-C30-10"
 - 5.3. Línea 3 → 03-C30-12"
 - 5.4. Línea 4 → 4-C30-10"
 - 5.5. Línea 5 → 5-C30-8"
 - 5.6. Línea 6 → 6-C30-10"
 - 5.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"
 - 5.8. Línea 9 → 9-C30-4"
 - 5.9. Línea 10 → 10-A15-6"
 - 5.10. Línea 11 → 11-A15-6"
 - 5.11. Línea 12 → 12-C30-4"
 - 5.12. Línea 13 → 13-A15-6"
 - 5.13. Línea 14 → 14-A15-6"
 - 5.14. Línea 15 → 15-A15-6"
 - 5.15. Línea 16 → 16-C30-2"
 - 5.16. Resto de líneas
 - 5.17. Briddle #1
 - 5.18. Briddle #2
- 6. Soportes**
- 6.1. Trunnion
- 7. Modificaciones del proyecto inicial**
- 8. Visualización del modelo**
- 8.1. Visualización del modelo en Realidad Aumentada (AR)
- 9. Obtención de planos**

7. Anejo "Datos de partida"

- 1. Diagrama general de procesos**
- 2. Localización de las bancadas y cimientos**
- 3. Vista cenital de planta**
- 4. Planos de bancadas y cimentaciones**
 - 4.1. Plano de bancada de la torre depropanizadora V-101
 - 4.2. Plano de bancada elevada de acumulador de reflujo V-102
 - 4.3. Plano de bancada elevada del intercambiador Reboiler E-101
 - 4.4. Plano de bancada del intercambiador condensador E-102
 - 4.5. Plano de bancada de las bombas P-101A y P-101B
- 5. Planos del rack y los soportes. Estructuras metálicas.**
- 6. Planos de los equipos**
 - 6.1. Depropanizadora V-101
 - 6.2. Acumulador de Reflujo V-102
 - 6.3. Reboiler E-101
 - 6.4. Condensador E-102
 - 6.5. Bombas P-101A & P-101B
- 7. Líneas**
 - 7.1. Línea 1
 - 7.2. Líneas 2 y 3
 - 7.3. Línea 4



- 7.4. Línea 5
- 7.5. Línea 6
- 7.6. Línea 7
 - 7.6.1.Branch 7-C30-6"
 - 7.6.2.Branch 7-C30-4"
- 7.7. Línea 9
- 7.8. Línea 10
- 7.9. Línea 11
- 7.10. Línea 12
- 7.11. Línea 13
- 7.12. Línea 14
- 7.13. Línea 15
- 7.14. Línea 16
- 7.15. Briddle #1
- 7.16. Briddle #2

8. Anejo "Datos físicos y geométricos"

1. Valores de las tuberías

- 1.1. Valores físicos y geométricos de las tuberías
- 1.2. Separación mínima entre tuberías
- 1.3. Valores de los accesorios
 - 1.3.1.Líneas de 4" clase 300#
 - 1.3.2.Líneas de 6", Schedule estándar
 - 1.3.3.Líneas de 8", Schedule estándar y Clase 300#
 - 1.3.4.Líneas de 10", Schedule estándar y Clase 300#
- 1.4. Tipos de clases de tuberías y accesorios

2. Valores de las estructuras

- 2.1. Valores físicos y geométricos de los perfiles metálicos
 - 2.1.1.Perfiles pórtico
 - 2.1.2.Perfiles vigas transversales
 - 2.1.3.Perfiles soporte corto W
 - 2.1.4.Perfiles soporte largo Ñ

9. Anejo "Planos"

1. Planos estructuras:

- 1.1. Plano_ESTR_01 → Estructura rack
- 1.2. Plano_ESTR_02 → Soporte corto W
- 1.3. Plano_ESTR_03 → Soporte largo Ñ
- 1.4. Plano_ESTR_04 → Trunnions y soportes bombas
- 1.5. Plano_ESTR_01 → Cimientos y bancadas de la unidad depropanizadora

2. Planos tuberías:

- 2.1. Plano_TUBE_01 → Línea 1-C30-8"
- 2.2. Plano_TUBE_02 → Línea 2-C30-10"



- 2.3. Plano_TUBE_03 → Línea 3-C30-12"
- 2.4. Plano_TUBE_04 → Línea 4-C30-10"
- 2.5. Plano_TUBE_05 → Línea 5-C30-8"
- 2.6. Plano_TUBE_06 → Línea 6-C30-10"
- 2.7. Plano_TUBE_07 → Línea 7-C30-X"
- 2.8. Plano_TUBE_08 → Línea 9-C30-4"
- 2.9. Plano_TUBE_09 → Línea 10-A15-6"
- 2.10. Plano_TUBE_10 → Línea 11-A15-6"
- 2.11. Plano_TUBE_11 → Línea 12-C30-4"
- 2.12. Plano_TUBE_12 → Línea 13-A15-6"
- 2.13. Plano_TUBE_13 → Línea 14-A15-6"
- 2.14. Plano_TUBE_14 → Línea 15-A15-6"
- 2.15. Plano_TUBE_15 → Línea 16-C30-2"
- 2.16. Plano_TUBE_16 → Líneas sobre el rack
- 2.17. Plano_TUBE_17 → Briddle #1
- 2.18. Plano_TUBE_18 → Briddle #2

3. Planos equipos:

- 3.1. Plano_EQUI_01 → Torre depropanizadora V-101
- 3.2. Plano_EQUI_02 → Intercambiador hervidor E-101
- 3.3. Plano_EQUI_03 → Intercambiador condensador E-102
- 3.4. Plano_EQUI_04 → Deposito acumulador V-101
- 3.5. Plano_EQUI_05 → Bombas P-101 A & P-101 B

4. Planos cálculos:

- 4.1. Plano_CALC_01 → Pórticos del rack
- 4.2. Plano_CALC_02 → Viga transversal AB cálculo
- 4.3. Plano_CALC_03 → Viga transversal CD cálculo
- 4.4. Plano_CALC_04 → Pilar HI del rack
- 4.5. Plano_CALC_05 → Pilar MN del rack
- 4.6. Plano_CALC_06 → Pilar UV del rack
- 4.7. Plano_CALC_07 → Soporte corto W cálculo
- 4.8. Plano_CALC_08 → Soporte largo Ñ cálculo

10. Índice de imágenes y tablas

11. Bibliografía

Resumen



La idea de este proyecto surge durante el confinamiento por COVID-19 del 2020. En ese momento me encontraba realizando cursos sobre “Pipe & Gas” con una empresa (CT3 Ingeniería), que me enseñó sobre digitalización, simulación y cálculo de soportes y líneas de tuberías. Durante los meses más duros del confinamiento, ya sin cursos ni trabajo a la vista, me propongo (siguiendo los consejos de Don Francisco Sarti Balsalobre) perfeccionar los conocimientos adquiridos, realizando la digitalización de la unidad depropanizadora. Para ello, le pido consejo a CT3 Ingeniería, y me proporcionan los datos del anejo “Datos de partida” (es un ejercicio para formar ingenieros y modeladores) desde donde comienzo con la modelación de la unidad.

Tras realizar la digitalización en 3D, se lo mostré a mi tutor, Don Mario Matas Hernández y juntos añadimos más argumentos y cálculos para que tuviese el peso necesario. Es en este momento donde decidimos acompañar la digitalización, con la simulación de las líneas de tuberías, su verificación y el cálculo y dimensionamiento de los elementos estructurales que las soporta. Y es aquí donde entramos de cabeza en el proyecto:

Este trabajo consta de la digitalización de una unidad depropanizadora, así como el cálculo y verificación de los elementos mecánicos de apoyo que son necesarios.

Una unidad depropanizadora, dentro de una planta petroquímica, es la parte encargada de eliminar las moléculas de propano de las naftas ya procesadas, mediante una torre de fraccionamiento y unos intercambiadores de calor.

En el trabajo se va a realizar una digitalización (mediante AVEVA Everything 3D) que permita la visualización de la planta en un ordenador, móvil o tablet y se puedan gestionar fácilmente a distancia las diferentes labores de mantenimiento, sustitución o reparación de elementos. Desde esta aplicación, se puede digitalmente visitar la planta y estudiar la ruta de acceso, planear la dirección y sentido de montaje y desmontaje u obtener toda la información sobre los elementos que forman la unidad con solo un clic.

También se va a realizar la simulación de las líneas que intervienen en la unidad (mediante CaePipe) y de esta forma poder, en primer lugar, verificar la línea según la normativa ASME-B31.3 y estudiar cómo se comporta en la unión con los equipos y en el apoyo sobre los soportes. De esta manera sabremos como trabajan las tuberías en diferentes situaciones y como transmiten las cargas a los soportes.

Sabiendo las cargas que transmiten las tuberías a las estructuras, junto con el cálculo del resto de acciones, podremos dimensionar y verificar los soportes y estructuras según la EAE.

Y por último se realiza la verificación de la instalación de las bombas según la normativa API-610.

La unidad está compuesta por 6 equipos formados por una torre de fraccionamiento (V-101), dos intercambiadores de calor, (uno hervidor E-101 y otro condensador E-102), un depósito acumulador (V-102) y dos bombas de impulsión (P-101 A&B).

Los equipos y procesos están unidos entre sí por 27 líneas de tuberías que se intervienen en la unidad.

Las tuberías se sostienen dentro de la unidad depropanizadora mediante dos soportes metálicos en forma de T. La unidad se une con el resto de la planta mediante el rack, que es una estructura porticada, rigidizada por dos vigas transversales, una a cada lado.



CONCLUSIONES:

Tras la realización de este trabajo, analizar todos los datos y todos los elementos que lo componen, se plantean las siguientes conclusiones.

Si los datos aportados por CT3 ingeniería, fuesen reales y el objetivo de este proyecto es analizarlos y comprobarlos desde un punto de vista realista, además de mantener los perfiles seleccionados en la “Memoria Constructiva”, es necesario realizar algunas modificaciones para que todo funcione correctamente en la unidad:

- Es prioritario añadir unos soportes en la línea que alimenta las bombas, para no sobrecargar la tobera de succión de estas. Este problema se ha encontrado cuando se ha realizado la verificación con la normativa API-610.
- Para realizar un mayor aprovechamiento de los pilares de los soportes en forma de T, soporte corto W y soporte largo Ñ, es aconsejable girar los pilares 90° a partir de lo que aparece en los datos aportados por la empresa (Anejo “Datos de partida”).
- Para que las placas de anclaje de los soportes en forma de T entren en los cimientos (manteniendo los márgenes de seguridad), es necesario aumentar la superficie de estos.

Abstract



This study deals with the digitization, calculation and verification of all the elements that compose a depropanizer unit.

A depropanizer, with in a petrochemical plan, is the unit in charge of eliminating the propane molecules of the naphthas already processed, by using a fractionation tower and some heat exchangers.

In this study, a digitization will be carried out (using AVEVA Everything 3D) that allows the visualization of the plant on any digital device and allow planning and organization of maintenance, replacement and repair of elements using just one-click.

The lines involved in the unit will also be simulated (by CaePipe), and then be able to verify the lines according to the ASME-B31.3 standard and to study how it behaves in the union with the equipment and supports.

Knowing the loads that the pipes transmit to the structures, along with the calculation of the rest of actions, we will be able to size and verify the supports and structures according to the CTE-SE-A.

And finally, the verification of the installation of the pumps will be carried out according to the standard API - 610.

The unit consists of 6 teams made up of a fractionation tower (V-101), two heat exchangers (one boiler (E-101) and another condenser (E-102)), a tank accumulator (V-102) and two pumping pumps (P-101 A&B). The equipment and processes are linked together by 27 pipes lines.

1. Memoria descriptiva



1. Memoria Descriptiva:

1. Introducción	3
1.1. Promotor	3
1.2. Ubicación	3
2. Objetivos principales del proyecto	4
3. Antecedentes	4
3.1. Requisitos	4
3.2. Datos de partida	5
4. Normativas	5
4.1. ASME B31.1	5
4.2. API 610 / ISO 13709:2003	5
4.3. CTE SE-A	5
4.4. EAE	5
4.5. CTE-EA	5
5. Unidad Depropanizadora	6
5.1. Procesos de separación de gases	6
5.2. Diagramas de flujo e instrumentos	9
5.2.1. Diagrama de flujo del proceso	9
5.2.2. Diagrama de flujo mecánico	10
5.2.3. Diagrama de flujo de servicios públicos.	10
5.3. Equipos mecánicos	12
5.3.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora → V-101	12
5.3.2. Deposito acumulador → 01-V-102	13
5.3.3. Intercambiador hervidor → 01-E-101	14
5.3.4. Intercambiador enfriador → 01-E-102	15
5.3.5. Bombas → P-101A & P-101B	16
5.4. TUBERIAS	17
5.4.1. Línea 1 → 1-C30-8	18
5.4.2. Línea 2 → 02-C30-10"	19
5.4.3. Línea 3 → 03-C30-12"	20
5.4.4. Línea 4 → 4-C30-10"	21
5.4.5. Línea 5 → 5-C30-8"	22
5.4.6. Línea 6 → 6-C30-10"	23



5.4.7.	Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"	24
5.4.8.	Línea 9 → 9-C30-4"	25
5.4.9.	Línea 10 → 10-A15-6"	26
5.4.10.	Línea 11 → 11-A15-6"	27
5.4.11.	Línea 12 → 12-C30-4"	28
5.4.12.	Línea 13 → 13-A15-6"	29
5.4.13.	Línea 14 → 14-A15-6"	30
5.4.14.	Línea 15 → 15-A15-6"	31
5.4.15.	Línea 16 → 16-C30-2"	32
5.4.16.	Línea 17 → 17-A15-8"	33
5.4.17.	Línea 18 → 18-A15-8"	33
5.4.18.	Línea 19 → 19-A15-10"	34
5.4.19.	Línea 20 → 20-A15-10"	34
5.4.20.	Línea 21 → 21-A15-10"	34
5.4.21.	Línea 22 → 22-A15-10"	34
5.4.22.	Línea 23 → 23-A15-2"	34
5.4.23.	Línea 24 → 24-A15-2"	34
5.4.24.	Línea 25 → 25-A15-3"	34
5.4.25.	Línea 26 → 26-C30-3	34
5.4.26.	Línea 27 → 27-C30-14"	35
5.5.	BRIDDLES → Medidor/Controlador de nivel	35
5.5.1.	BRIDDLE #1	35
5.5.2.	BRIDDLE #2	36
5.6.	Estación de válvulas de control	36
5.6.1.	Válvula de control	36
5.6.2.	Estación de válvulas de control	37
5.7.	Elementos estructurales	38
5.7.1.	Rack	38
5.7.2.	Soportes	39
5.7.3.	Trunnio	40



1. Introducción

1.1. Promotor

La empresa PetroComb S.A. va a promover la ampliación y actualización de su refinería de petróleo en “San Martín 5, 48550 Musquiz, Biscay” Bilbao, España. La actualización de la planta implica la digitalización de la unidad de propanizadora y la ampliación consta de una unidad de propanizadora completa (partiendo de sus cimientos) junto con la ampliación del Pipe Rack que transporta las líneas por la petroquímica.

1.2. Ubicación

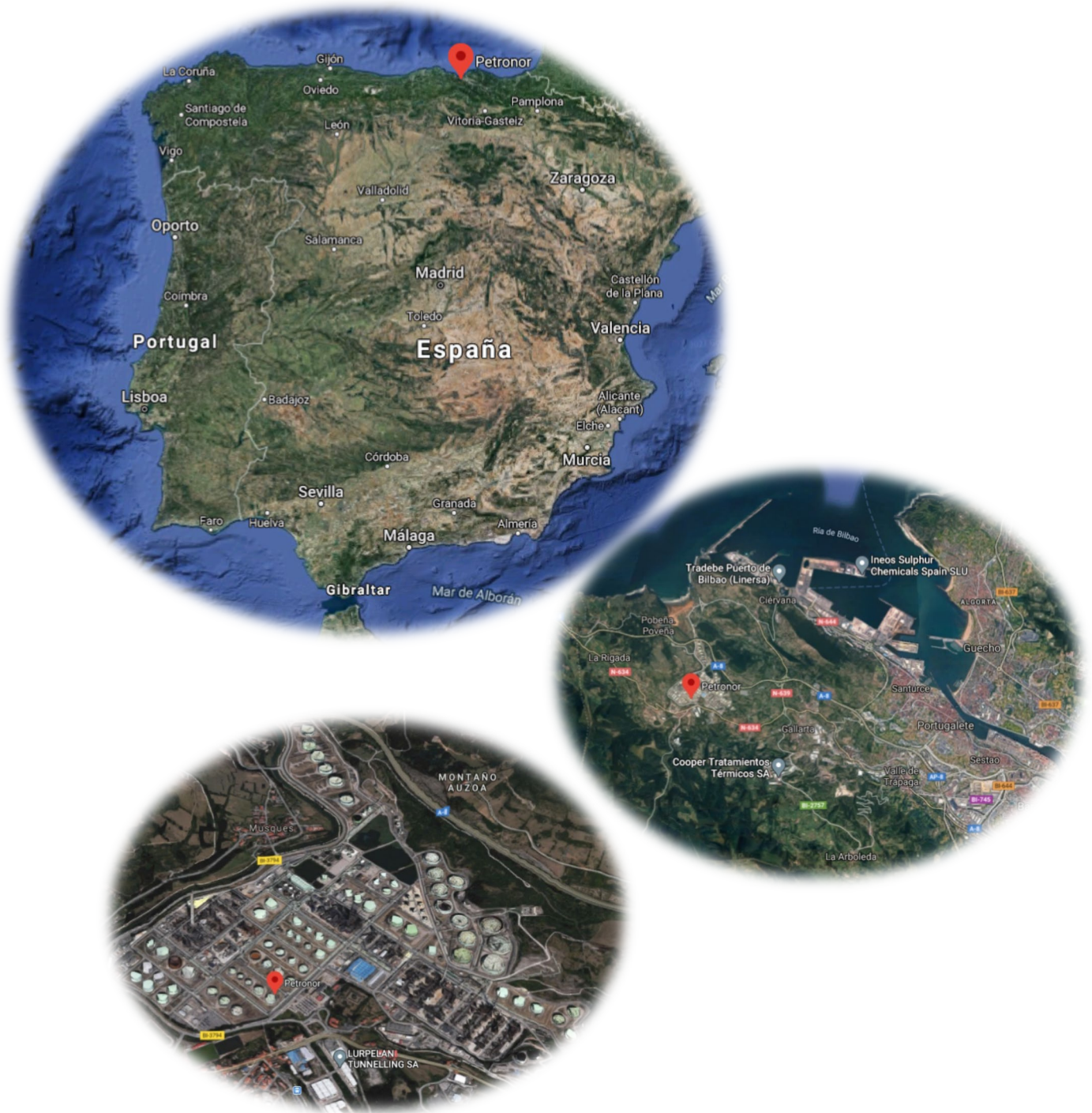


Imagen 1: localización de PetroComb Musquiz en el mapa de España



2. Objetivos principales del proyecto

La elaboración de este proyecto se centra en la digitalización, verificación y dimensionamiento completo de la unidad depropanizadora. Se creará una planta depropanizadora en formato digital, capaz de recorrerse y de identificar las partes que componen, de esta forma, las labores de mantenimiento, reparación, o sustitución, se pueden planear previamente de forma digital, planeando por donde acceder al elemento y ver todas las propiedades de este.

También se simularán en CaePipe las tuberías de mayor complejidad para verificar que cumplan la normativa ASME B31.3 y calcular cómo se comportan en las estructuras donde se soportan. Obtenidos estos valores, se procede al cálculo y dimensionamiento de las estructuras y soportes que aguantan las tuberías y forman la unidad depropanizadora.

Teniendo los valores de comportamiento de las tuberías, se calcularán y simularán las estructuras que participan en el proyecto con el fin de verificarlas por el CTE-SE-A.

3. Antecedentes

PetroComb tiene una refinería de petróleo junto a Ria de Bilbao, "PetroComb MUSKIZ". Por la creciente demanda de GLP gracias a su buen posicionamiento en la sociedad, se encuentran con la necesidad de montar otra unidad depropanizadora que les permita procesar más producto. Necesitan que sea igual que ya que ya tienen instalada, puesto que los cimientos y bancadas de los equipos ya están fabricadas. También requieren de una digitalización que completa de la unidad lo más realista posible, para gestionar las dos unidades depropanizadora (la que ya tienen instalada y la que se va a estudiar en este proyecto).

3.1. Requisitos

Para ello tienen diferentes demandas y propuestas.

- Quieren que la nueva unidad se parezca lo máximo posible a otra unidad que tienen y de la que han perdido la mayor parte de información. Adjuntando únicamente situación de los equipos, P&ID general de procesos y pequeño croquis de acabado (Todos los documentos aportados, se recogen en el anejo "Datos de partida").
- Las ubicaciones de las estructuras y equipos ya están construidas, por lo que tenemos que adaptarnos todo lo posible a los cimientos y bancadas que nos han pasado en el plano de fabricación que se puede encontrar a partir del apartado "4. Planos de bancadas y cimentaciones" del anejo "Datos de partida".
- No requieren plataforma en el depósito ya que su forma de intervenir en el depósito V-102, es mediante una carretilla elevadora.
- Se permite una deformación máxima en el pipe rack de 1/1000. Al ser una prolongación del anterior Pipe Rack, no puede tener deformaciones mayores.
- En los soportes en T se acepta un giro de hasta 0,015 radianes.
- Los valores estructurales tienen que estar dimensionados en el sistema internacional con su valor más próximo al real. Puesto que en los planos de partida los valores se encuentran en el sistema imperial.



- Las tuberías y sus accesorios serán nombrados mediante su nomenclatura norteamericana.
- Los equipos son encargados a otra empresa, por lo que únicamente hay que presentarlos, identificarlos correctamente y analizar la instalación de las bombas para que cumpla con la normativa.

3.2. Datos de partida

Con la intención de que esta nueva unidad depropanizadora se parezca a la que ya tienen instalada, PetroComb ha adjuntado todos los datos que tiene de esta antigua unidad.

Estos datos se encuentran en el ANEJO “Datos de Partida”.

Se encuentran ordenados de la siguiente forma:

- Diagrama general de procesos
- Localización de cimientos y equipos
- Planos de las bancadas y cimientos
- Planos rack y soporte
- Planos de equipos
- Planos e información sobre las líneas.

4. Normativas

Dependiendo del elemento de estudio, este tendrá que cumplir una normativa u otra o varias.

4.1. ASME B31.1

Las tuberías se han ensayado y calculado respecto al ASME B31.1. “Power Piping”. Esta normativa pertenece a la ASME; “The American Society of Mechanical Engineers” y prescribe requisitos mínimos para el diseño, materiales, fabricación, montaje, prueba, examen, inspección, operación y mantenimiento de sistemas de tuberías que se encuentran típicamente en estaciones generadoras de energía eléctrica, plantas industriales, sistemas de calefacción geotérmica y centrales y sistemas de calefacción y refrigeración.

4.2. API 610 / ISO 13709:2003

Para la verificación de las bombas presentes en la unidad se debe realizar un estudio y comprobar que los valores de las bombas están dentro de los valores permitidos para la norma API 610. Esta norma también procede de la ASME, aunque Europa ha sacado su norma idéntica ISO 13709:2003, aun así se comprobaba para la norma API-610.

4.3. CTE SE-A

Las comprobaciones y verificaciones de los elementos estructurales que forman parte de la unidad depropanizadora, se han realizado conforme el CTE-SE-A.

4.4. EAE

Para el cálculo de hipótesis de acciones, se ha utilizado la instrucción de acero estructural del ministerio de fomento del Gobierno de España.

4.5. CTE-EA

Para la obtención de ciertos valores y cálculos de coeficientes se han utilizado del código técnico de la edificación, los apartados de “Acciones en edificación” y “Acero”

5. Unidad Depropanizadora

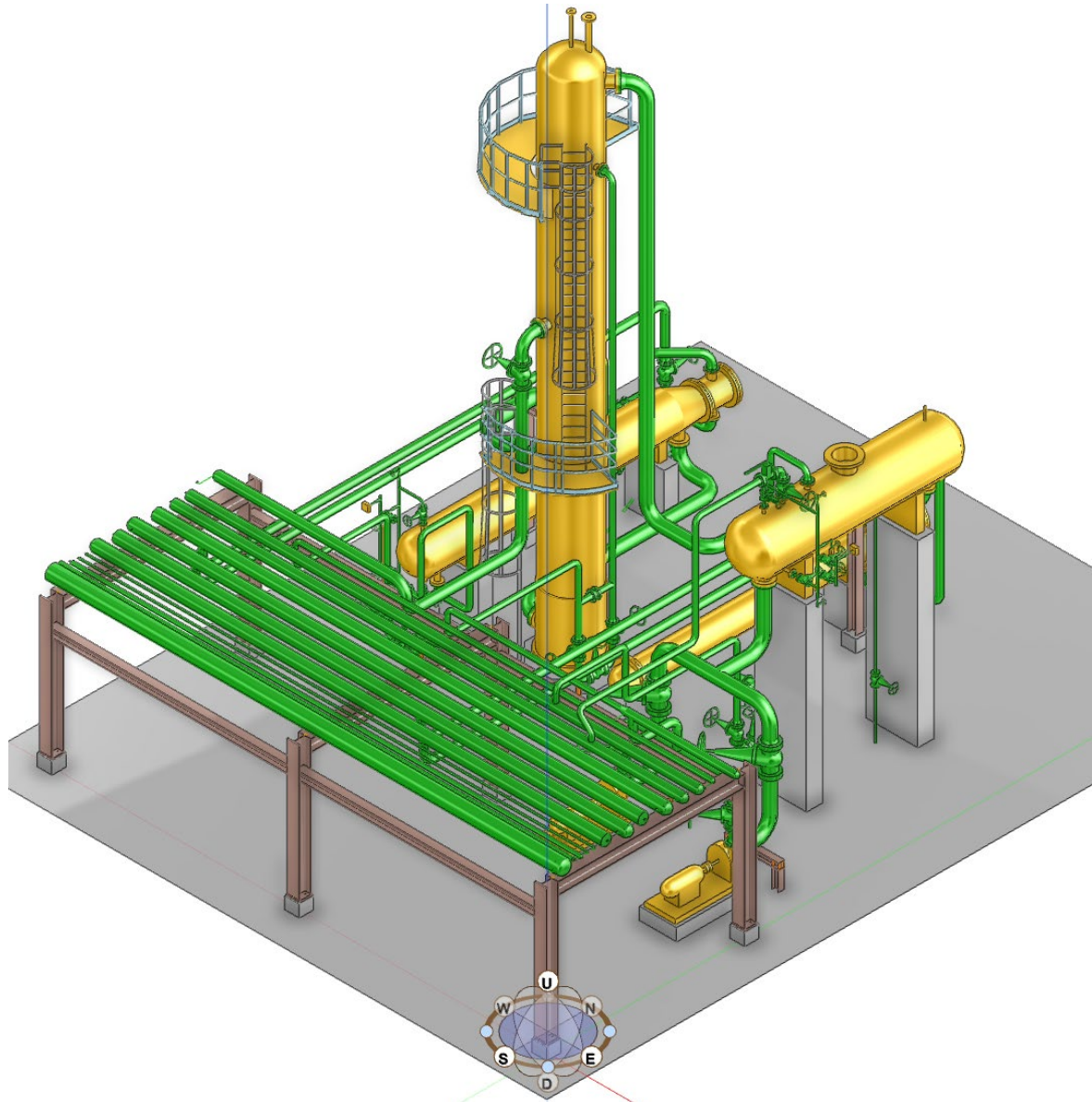


Imagen 2: captura de la digitalización completa de la unidad depropanizadora

5.1. Procesos de separación de gases

En este proyecto se va a estudiar una unidad depropanizadora. Para poder comprender cuál es su función específica, primero hay que entender cómo funciona una estación petroquímica y más concretamente una refinería de petróleo. Ya que la unidad depropanizadora es una pequeña parte dentro de un proceso mucho mayor.

En una refinería de petróleo, la materia prima con la que comienza el proceso es con el petróleo en crudo o "feed".

El petróleo en crudo está compuesto por moléculas con diferentes combinaciones de átomos de carbono e hidrogeno. Debido a que las moléculas son diferentes, cada molécula de petróleo hierve a una temperatura diferente. Pero debido a que estas moléculas son muy similares, se crean grupos de moléculas que hierven dentro de un estrecho rango de temperatura. Estos grupos se llaman "fracciones".

Este proceso de separar el producto en diferentes fracciones para su posterior procesamiento se llama destilación fraccionada y se realiza en torres de fraccionamiento.

CRUDE OIL BY-PRODUCTS

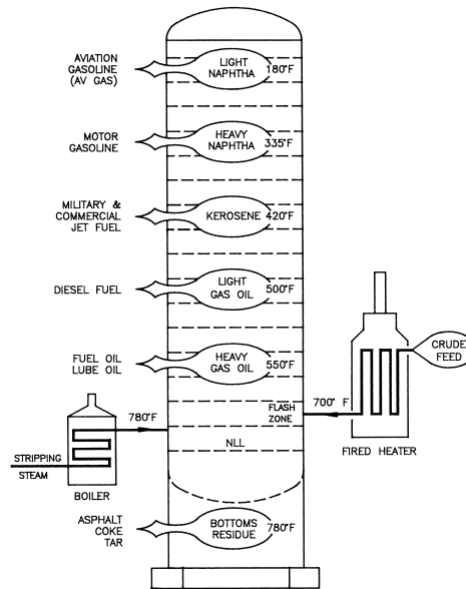


Figure 6-22. Crude oil products.

Imagen 3: columna de fraccionamiento con las diferentes fracciones separadas por productos.

En la imagen 2; se muestra una vista ampliada de una torre de fraccionamiento de petróleo y los subproductos extraídos del petróleo en crudo.

En el proceso de destilación fraccionada, los subproductos pesados como el asfalto y el alquitrán salen por el fondo de la columna como “residuos”. A medida que subimos por la torre y la temperatura disminuye, se extraen otros productos pesados como combustibles y aceites lubricantes. En la parte media-alta se extraen los productos ligeros del petróleo como el diésel y el queroseno.

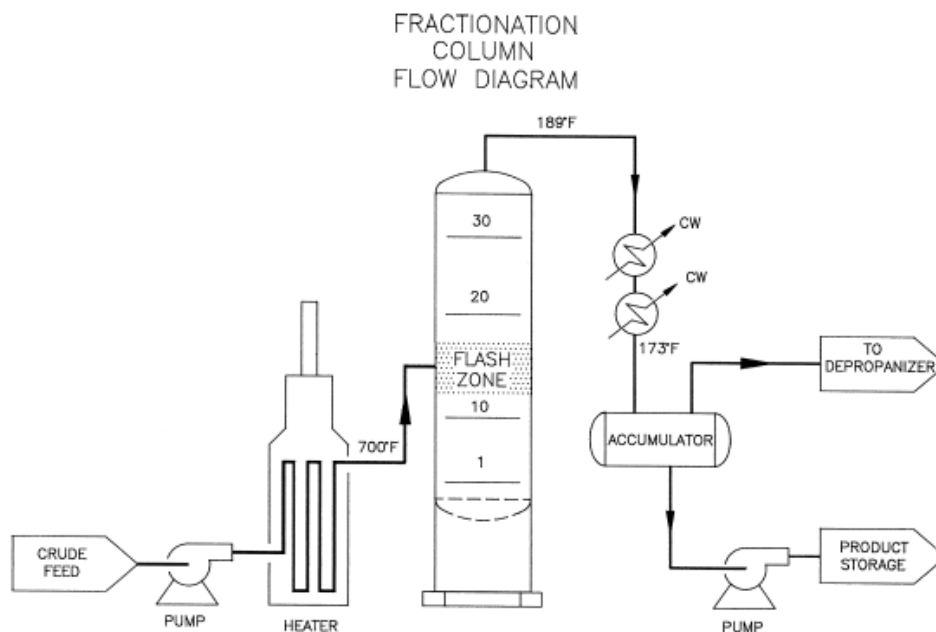


Figure 6-21. Flow diagram for fractional distillation process.

Imagen 4: diagrama de flujo simplificado de una columna de fraccionamiento de petróleo crudo.

La nafta será el producto que más nos interese para nuestro proceso de depropanización, ya que de su limpieza será de donde obtengamos el propano para el GLP.

Cuando la nafta abandona la columna de fraccionamiento por la parte superior, pasan por un intercambiador para condensarse y ya liquido se acumula a en un depósito. De aquí, la nafta es bombeada a la unidad depropanizadora para extraer el propano. Una vez extraído, el propano es licuado y mezclado con el butano (también extraído de forma similar en una unidad debutanizadora), para transformar la mezcla en GLP.

El propósito de la unidad depropanizadora, es recuperar y separar los hidrocarburos procedentes de la destilación fraccionada del crudo.

En las refinerías de petróleo (imagen 3) existe normalmente una depropanizadora de esta clase, mientras que en las plantas de gas natural (imagen 4); este tipo de instalaciones donde se separan los diferentes componentes es el corazón del sistema.

Esto se debe a que la gran mayoría del propano (alrededor del 60%) se obtiene durante la extracción del gas natural o de los gases generados durante los procesos de cracking. El propano se encuentra en las mismas bolsas que el gas natural, así que se puede decir que es un subproducto de este. Antiguamente se eliminaba mediante venteo o quema en antorcha, desperdiciando su poder calorífico, pero a lo largo del siglo XX (primera botella de propano en Francia en 1934), se comenzó a comercializar, siendo ahora uno de los hidrocarburos más demandados.

El resto de la producción del propano (sobre el 40%), se produce durante el refinado del petróleo y de los gases de nafta como se explicaba anteriormente.

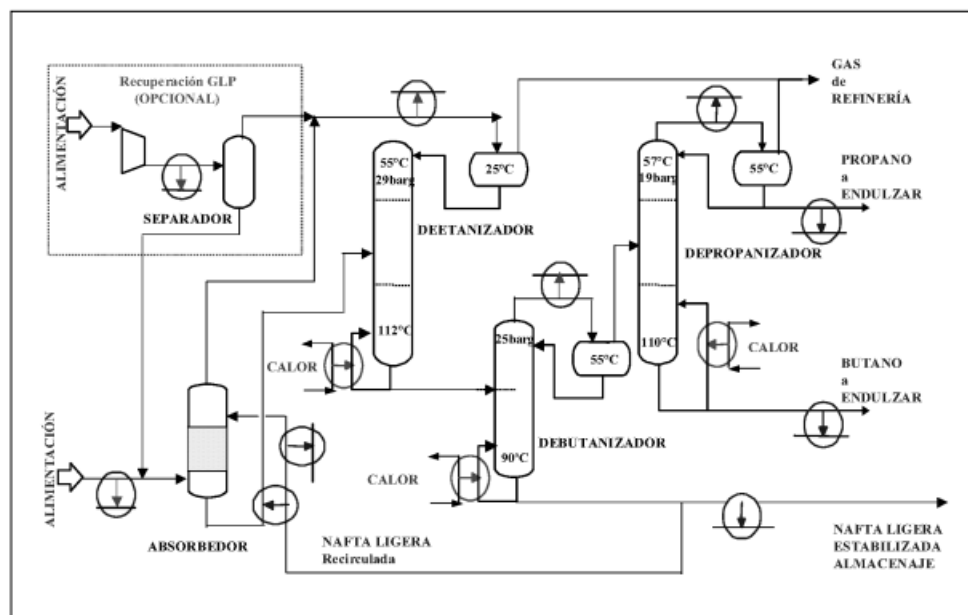


Imagen 5: esquema simplificado de una planta de gas natural.

Las plantas de concentración de gases (planta de gas natural), a causa de la relativa baja temperatura a la que trabajan sus columnas, son candidatos ideales para integrar térmicamente corrientes de otras unidades. De aquí que sea fácil integrar varios procesos en la misma línea (imagen 4).

5.2. Diagramas de flujo e instrumentos

Los diagramas de flujo describen en un dibujo esquematizado, el flujo de fluidos y gases a través de una unidad o una planta completa. Indicando los nombres de las líneas y equipos y como se conectan entre sí.

5.2.1. Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo del proceso es el primer diagrama, se muestra en la imagen 5 e incluye lo siguiente:

- Equipo principal
- Tuberías principales
- Dirección del flujo
- Presión y temperatura de funcionamiento
- Instrumentación principal

En este diagrama de flujo, también se denotará:

- Condiciones que se utilizan para el diseño de varios equipos necesarios para el funcionamiento de la instalación.

Las condiciones de diseño establecen los límites que pueden soportar los equipos utilizados en la instalación.

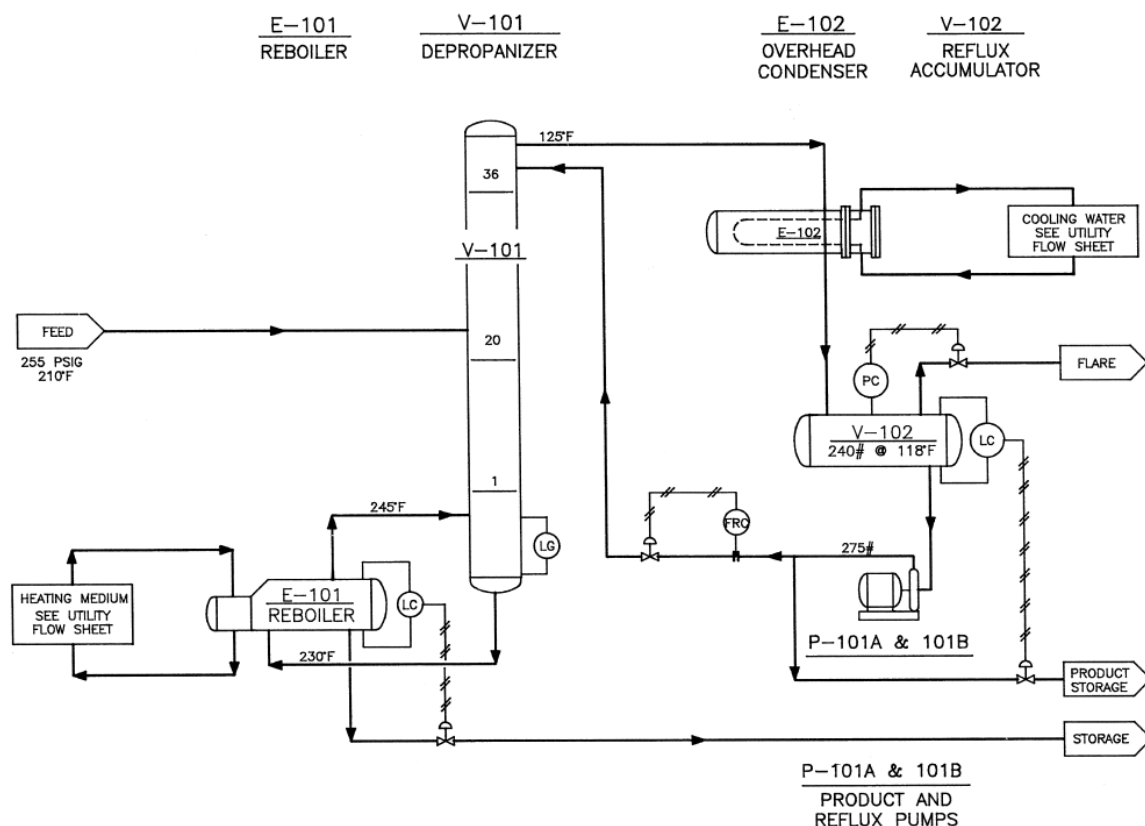


Imagen 6: diagrama de flujo del proceso de la unidad depropanizadora.

5.2.2. Diagrama de flujo mecánico

El diagrama de flujo mecánico proporciona datos mucho más detallados que el diagrama de flujo del proceso. Normalmente, nos referimos al diagrama de flujo mecánico como “P&ID” (diagrama de procesos e instrumentos). Este tipo de diagrama proporciona los criterios de diseño de la unidad. El diagrama de flujo mecánico se muestra en la imagen 6 e incluyen lo siguiente:

- Numero de tuberías y dirección del flujo
- Especificaciones de tubería y tamaños de la línea
- Todos los equipos de la unidad
- Todas las válvulas de la unidad
- Toda la instrumentación con dispositivos de control.

El diagrama de flujo mecánico o P&id, define la secuencia exacta en la que se conectan los quipos, las líneas y los instrumentos de medición y/o control que haya en la instalación.

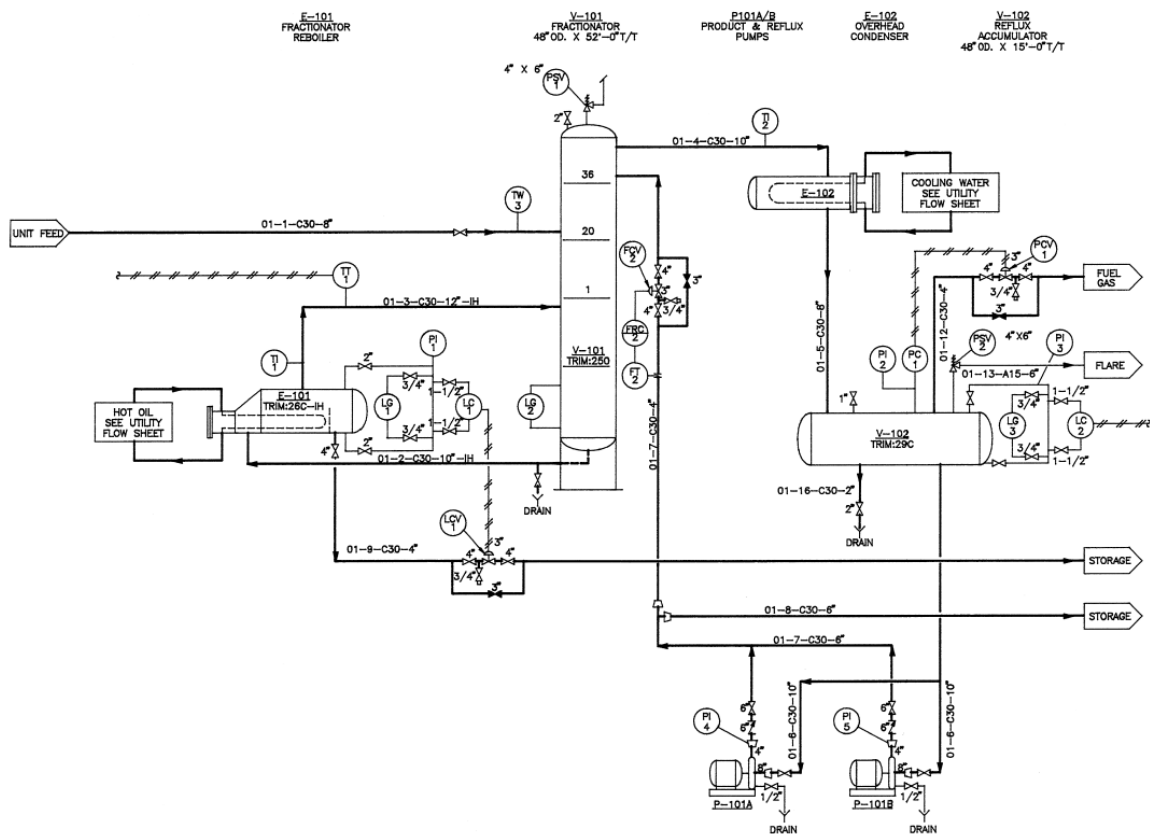


Imagen 7: P&ID o diagrama de flujo mecánico de la unidad depropanizadora.

5.2.3. Diagrama de flujo de servicios públicos.

El diagrama de flujo de servicios públicos muestra las tuberías, válvulas e instrumentos de los servicios básicos de la planta. Estos servicios corresponden con algunos servicios que podemos utilizar en una casa típica.

Los servicios más comunes en una planta son:

- Agua fría (como refrigerante y condensador)

- Agua caliente (vapor para calentar)
- Aire de servicio (para alimentar distintos puntos de la planta y para los instrumentos que lo necesitan)
- Sistema de drenaje o alcantarillado
- Combustible

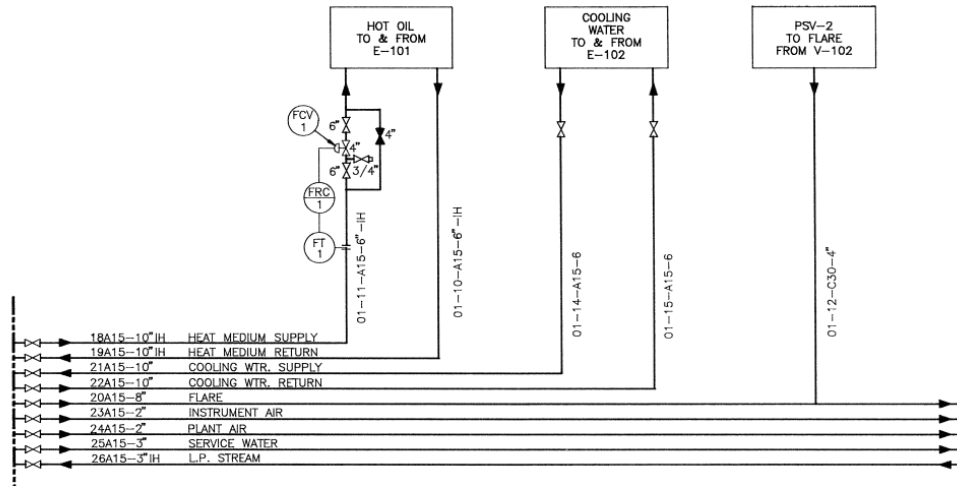


Imagen 8: diagrama de flujos de servicio público que intervienen en la unidad depropanizadora.

Para poder interpretar estos diagramas, es necesario conocer las abreviaturas y símbolos utilizados. Estos se pueden resumir en:

<p>VALVE SYMBOLS</p> <p>⊗ GATE VALVE</p> <p>⊗ GLOBE VALVE</p> <p>Z Z CHECK VALVE</p> <p>⊗ CONTROL VALVE</p> <p>⊗ PLUG VALVE</p> <p>⊗ BALL VALVE</p> <p>H BUTTERFLY VALVE</p> <p>MISCELLANEOUS SYMBOLS</p> <p>⊕ SPECTACLE BLIND OPEN</p> <p>⊖ SPECTACLE BLIND CLOSED</p> <p>⊕ ORIFICE FLANGES</p> <p>⊕ PIPING SPECIALTY ITEM</p>	<p>LINE SYMBOLS</p> <p>##### INSTRUMENT AIR LINE</p> <p>----- INSTRUMENT ELECTRICAL</p> <p>***** INSTRUMENT CAPILLARY TUBING</p> <p>———— PIPE</p> <p>FLOW DIAGRAM ABBREVIATIONS</p> <p>CSO – CAR SEAL OPEN</p> <p>CSC – CAR SEAL CLOSED</p> <p>DF – DRAIN FUNNEL</p> <p>LC – LOCK CLOSED</p> <p>LO – LOCK OPEN</p> <p>NC – NORMALLY CLOSED</p> <p>NO – NORMALLY OPEN</p> <p>PO – PUMP OUT</p> <p>SC – SAMPLE CONNECTION</p> <p>SO – STEAM OUT</p>	<p>○ LOCALLY MOUNTED INSTRUMENT</p> <p>◐ BOARD MOUNTED INSTRUMENT</p> <p>FLOW INSTRUMENTS</p> <p>FA FLOW ALARM</p> <p>FE FLOW ELEMENT</p> <p>FI FLOW INDICATOR</p> <p>FR FLOW RECORDER</p> <p>FRC FLOW RECORDING CONTROLLER</p> <p>LEVEL INSTRUMENTS</p> <p>LA LEVEL ALARM</p> <p>LAH LEVEL ALARM HIGH</p> <p>LAL LEVEL ALARM LOW</p> <p>LC LEVEL CONTROLLER</p> <p>LG LEVEL GLASS</p> <p>LI LEVEL INDICATOR</p> <p>LIC LEVEL INDICATING CONTROLLER</p> <p>LRC LEVEL RECORDING CONTROLLER</p> <p>TEMPERATURE INSTRUMENTS</p> <p>TA TEMPERATURE ALARM</p> <p>TI TEMPERATURE INDICATOR</p> <p>TR TEMPERATURE RECORDER</p> <p>TRC TEMPERATURE RECORDING CONTROLLER</p> <p>TW TEMPERATURE WELL</p> <p>PRESSURE INSTRUMENTS</p> <p>PC PRESSURE CONTROLLER</p> <p>PI PRESSURE INDICATOR</p> <p>PR PRESSURE RECORDER</p> <p>PIC PRESSURE INDICATING CONTROLLER</p> <p>PRC PRESSURE RECORDING CONTROLLER</p> <p>PSV PRESSURE SAFETY VALVE</p> <p>RV RELIEF VALVE</p> <p>MISCELLANEOUS SYMBOLS</p> <p>T TRANSMITTER (OR) ⊗</p> <p>HCV HAND CONTROL VALVE</p>
---	---	--

Imagen 9: abreviaturas y símbolos de los diagramas de flujo.

5.3. Equipos mecánicos

Primero estudiaremos los equipos, luego las líneas que los unen y por último las estructuras que sujetan las líneas.

Los equipos mecánicos son los encargados de mover, detener, calentar, enfriar, licuar, vaporizar, transferir, almacenar, mezclar o separar el producto que fluye a través del sistema de tuberías.

5.3.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora → V-101

La torre de fraccionamiento es la encargada de separar el producto inicial en diferentes fracciones.

La columna de fraccionamiento es alimentada con los gases de nafta mediante la línea 1-C30-8" y conectada por la tobera N3 a la torre. Aquí la nafta se divide, vertiendo al fondo de la torre los productos más pesados, estos abandonan la torre para pasar por un intercambiador hervidor 01-E-101, que recalienta el fluido para llevarlo a estado gaseoso y reintroducir en la zona flash de la torre por la línea 3-C30-12".

La parte que en el intercambiador no llega a vaporizarse, es devuelta al depósito de nafta en forma líquida, abandonando la unidad por la línea 9-C30-4".

El propano que es el gas más ligero del proceso abandona la columna por la parte alta (tobera N5, línea 4-C30-10"). De aquí va directo al intercambiador 01-E-102 donde se enfría el gas y se condensa. El propano en estado líquido se almacena en el depósito 01-V-102 a la espera de ser bombeado a la siguiente etapa más adelante. El gas que se queda en el depósito es redirigido una antorcha para su eliminación.

Los valores de las toberas y su posición se pueden encontrar en los planos de fabricación aportados por el promotor y que se encuentran en EL APARTADO "6.1. Depropanizadora V-101" del anejo "Datos de partida".

También podemos encontrar estos datos en los planos obtenidos de la digitalización, más concretamente el plano "Plano_EQUI_01" del anejo "Planos" o en la digitalización, pinchando en las diferentes toberas. La digitalización la podemos encontrar en el apartado "8. Visualización del modelo" del anejo "Digitalización E3D".

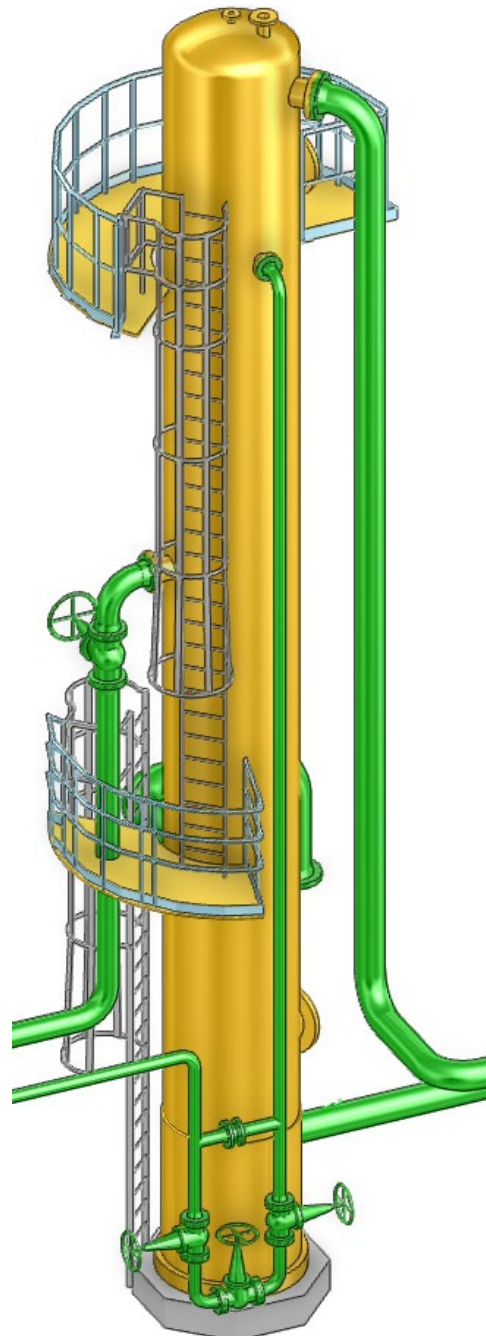


Imagen 10: captura de la torre depropanizadora V-101 diseñada en AVEVA E3D

5.3.2. Depósito acumulador → 01-V-102

Los depósitos son recipientes de almacenamiento, generalmente con forma cilíndrica y cuyo eje longitudinal es paralelo al horizonte.

En esta unidad, la función del depósito es la recolección y recepción del propano por la tobera N1, conectada a la línea 5-C30-8", acumulándolo a la espera de ser llenado. Del depósito salen 3 toberas, la N2 es la encargada de llevar el propano en estado líquido a la estación de bombeo mediante la línea 6-C30-9", y de ahí a la siguiente estación donde se mezclará con el butano para generar GLP.

Mediante la tobera N4, sale el propano en estado gaseoso por la línea 12-C30-4" y es conducido a la línea 17-A15-8" donde se junta con el resto de los combustibles gaseosos. Mientras que la salida N5 es la tobera de alivio, por la línea 13-A15-6" sale gas que se comunica con la línea 18-A15-8" para terminar en la antorcha de la planta. La tobera N3 es la de alivio y conectada a la línea 16-C30-2" baja hasta el suelo para tener una salida para la limpieza del depósito. Las toberas N6 y N7 se conectan a un medidor de nivel Briddle #2. La entrada M1 permite que un operario acceda al interior del depósito para revisiones, limpieza y mantenimiento. La salida C1 permite que en el momento de la limpieza se pueda ventilar el depósito.

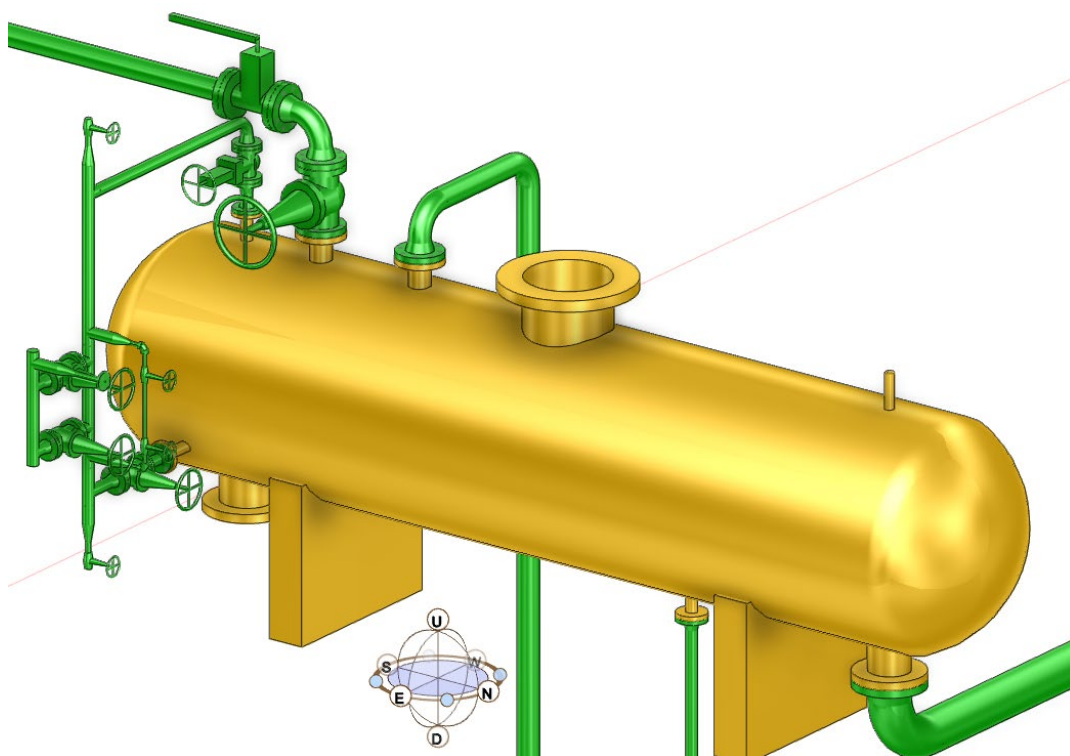


Imagen 11: captura del depósito V-102 con las tuberías que conecta diseñado en AVEVA E3D

Los valores de las toberas y su posición se pueden encontrar en los planos de fabricación aportados por el promotor y que se encuentran en el apartado "6.2. Acumulador de Reflujo V-102" del anejo "Datos de partida". También podemos encontrar estos datos en los planos obtenidos de la digitalización, más concretamente el plano "Plano_EQUI_04" del anejo "Planos" o en la digitalización, pinchando en las diferentes toberas. La digitalización la podemos encontrar en el apartado "8. Visualización del modelo" del anejo "Digitalización E3D".

5.3.3. Intercambiador hervidor → 01-E-101

Un intercambiador de calor hervidor, como su nombre indica, se usa para incrementar la temperatura de un producto.

Los hervidores se utilizan para mantener los fluidos que circulan por una torre de fraccionamiento en su punto de ebullición. El producto del proceso ingresa al hervidor desde la torre en estado líquido, se calienta con vapor sobrecalentado u otro líquido muy caliente y se devuelve en estado vaporoso a una área de la torre de fraccionamiento, llamada zona flash.

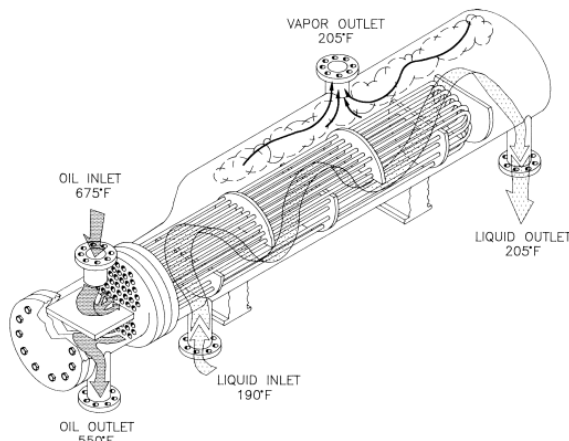


Imagen 12: diagrama de funcionamiento de un intercambiador de calor hervidor.

Este tipo de intercambiador funciona con una caldera externa a la torre de fraccionamiento. Es necesario tener un horno aparte, que caliente el fluido para alimentar el intercambiador, en este caso lo alimenta la línea 11-A15-6", conectada por la tobera B al intercambiador. Cuando el fluido pierde su poder calorífico, abandona el equipo E-101 por la tobera A y la línea 10-A15-6".

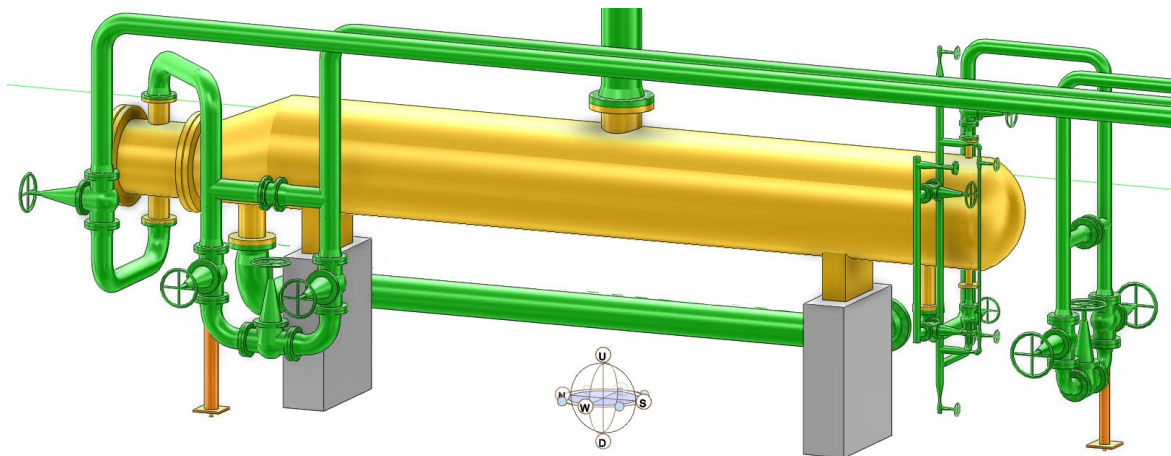


Imagen 13: captura del intercambiador hervidor E-101 de la digitalización en AVEVA E3D

Este fluido unicamente calentara el producto liquido del fondo de la torre, recogido por la línea 2-C30-10" y conectado al intercambiador por la tobera C, para devolverlo a la torre en estado gaseoso por la tobera D y mediante la línea 3-C30-12".

Por la tobera E sale el producto, en este caso nafta, que no ha sido capaz de convertirse en gas por tener otra temperatura de vaporización distinta al propano, y es reconducida a su lugar por la línea 9-C30-4". Las toberas F y G se conectan al medidor de nivel Bridle #1.

Los valores de las toberas y su posición se pueden encontrar en los planos de fabricación aportados por el promotor y que se encuentran en el apartado “6.3. Reboiler E-101” del anejo “Datos de partida”.

También podemos encontrar estos datos en los planos obtenidos a partir de la digitalización, más concretamente el plano “Plano_EQUI_02” del anejo “Planos” o en la digitalización, pinchando en las diferentes toberas. La digitalización la podemos encontrar en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

5.3.4. Intercambiador enfriador → 01-E-102

Este tipo de intercambiador realiza su trabajo haciendo circular por los tubos un fluido frío que entra por la tobera A y la línea 15-A15-6”. Alrededor de estos, en el caparazón del intercambiador, introducimos el propano en estado gaseoso por la tobera C y la línea 4-C30-10” y lo retiramos en estado líquido por la tobera D y la línea 5-C30-8” que lo llevara al depósito. Cuando el líquido refrigerante deja de hacer su función, se extrae del intercambiador por la tobera B y la línea 14-A15-6”.

Gracias al contacto del vapor con las paredes de los tubos que llevan el refrigerante, se consigue que este condense y precipite en la parte baja del intercambiador.

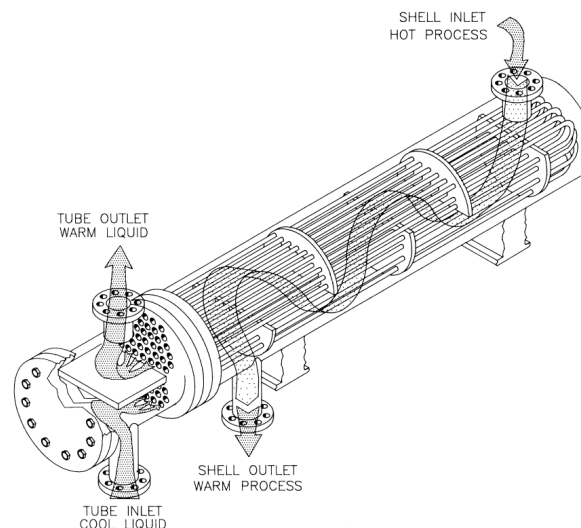


Imagen 14: diagrama de funcionamiento de un intercambiador de calor condensador.

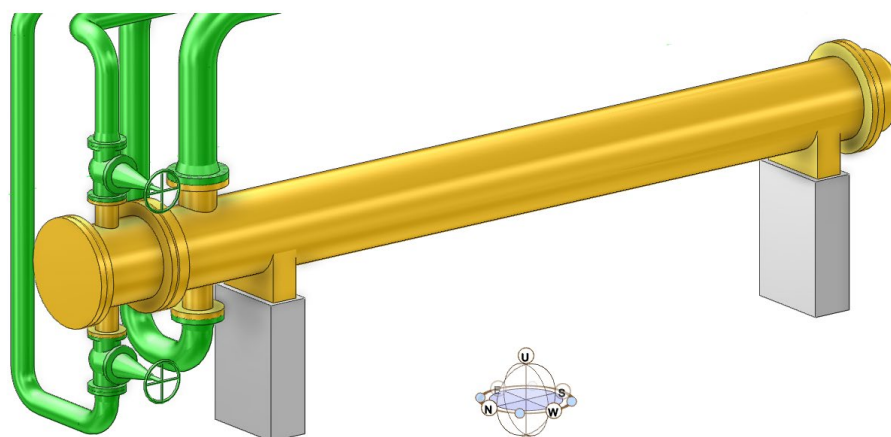


Imagen 15: captura del intercambiador condensador E-102 de la digitalización en AVEVA E3D

Los valores de las toberas y su posición se pueden encontrar en los planos de fabricación aportados por el promotor y que se encuentran en el apartado “6.4. condensador E-102” del anejo “Datos de partida”.

También podemos encontrar estos datos en los planos obtenidos a partir de la digitalización, más concretamente el plano “Plano_EQIO_03” del anejo “Planos” o en la digitalización, pinchando en las diferentes toberas. La digitalización la podemos encontrar en el apartado “8 Visualización del modelo” del anejo “Digitalización E3D”.

5.3.5. Bombas → P-101A & P-101B

Para poder mover el producto desde el depósito V-102, hasta la siguiente estación, es necesario bombearlo mediante la instalación de bombas centrífugas.

Esta instalación consta de dos bombas centrífugas horizontales en paralelo, capaz de trabajar una, otra o ambas.

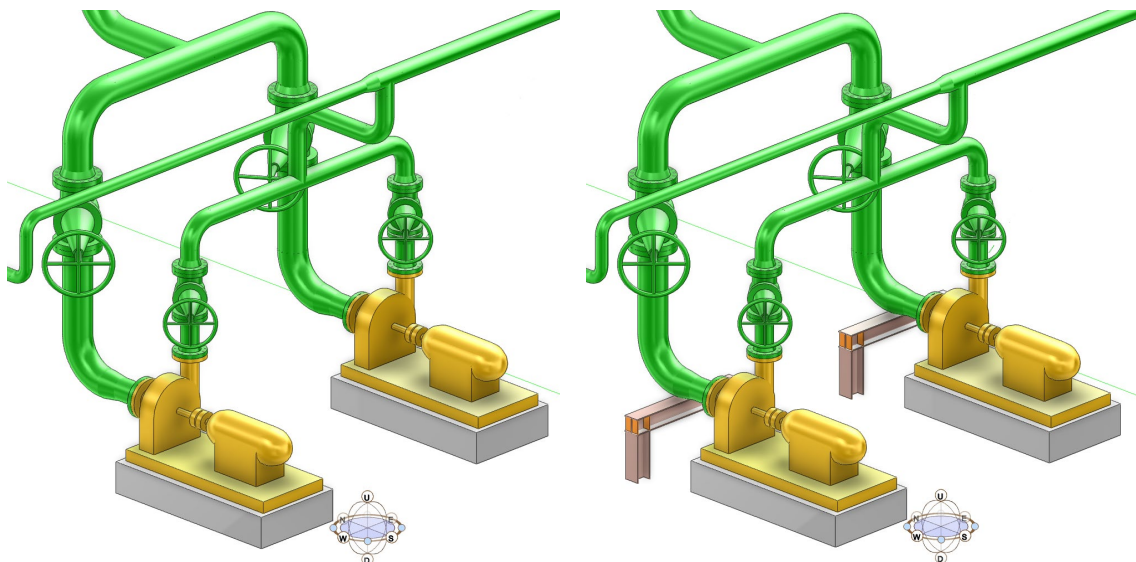


Imagen 16: comparativa entre las bombas P-101 A & B sin soporte y con él

Este tipo de bombas está compuesto por una tobera de aspiración o succión (A) conectada a la línea 6-C30-9”; y otra de descarga (B), conectada a la línea 7-C30-6”. Las toberas están dispuestas en perpendicular una de la otra y un rodete conectado a un motor eléctrico es el encargado de mover el fluido.

Este elemento debe cumplir la normativa API 610, la cual depende de su instalación y de cómo se comporten las líneas que se conectan en la aspiración y descarga, por lo cual, habrá que simular las bombas para comprobar que cumplan la normativa, o realizar los cambios necesarios para que la cumpla.

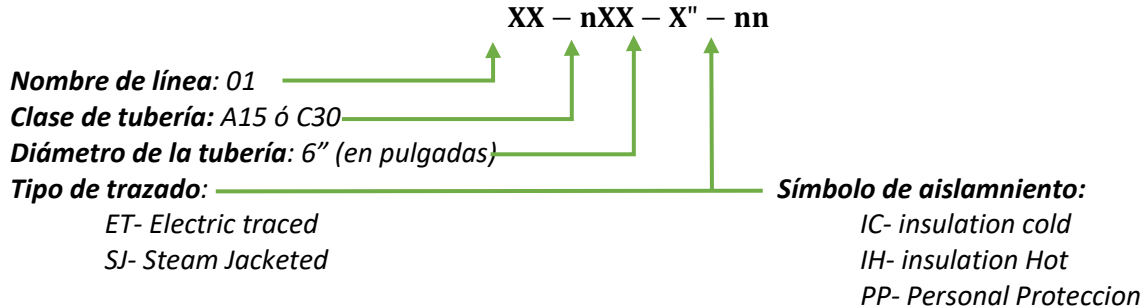
Los valores de las toberas y su posición se pueden encontrar en los planos de fabricación aportados por el promotor y que se encuentran en el apartado “6.5. Bombas P-101A & P-101B” del anejo “Datos de partida”.

También podemos encontrar estos datos en los planos obtenidos a partir de la digitalización, más concretamente el plano “Planos_EQUI_05” del anejo “Planos” o en la digitalización, pinchando en las diferentes toberas. La digitalización la podemos encontrar en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

5.4. TUBERIAS

Las tuberías se clasificarán por líneas, cada línea estará formada por la tubería y accesorios que unen dos equipos o dos procesos.

El nombre con el cual identificamos una línea nos da mucha información sobre esta.



La clase de la tubería también nos da mucha información, como las condiciones de presión y temperatura máximas, su coeficiente de corrosión y hasta los accesorios compatibles.

En este proyecto solo trabajaremos con dos tipos diferentes, A15 y C30.

La mayor diferencia entre estos dos tipos de tubería es la robustez de su construcción, ya que la clase 300 (C30) está fabricada con más material, lo que quiere decir que sus elementos aguantaran más presión y temperatura.

Esta diferencia entre clases se desarrolla en el apartado "1.4. Tipos de clases para las tuberías" y se puede ver de forma muy gráfica en el apartado "1.3. Valores de los accesorios" ambos apartados del anejo "Datos físicos y geométricos de las tuberías y estructuras"

Los accesorios que hay en una línea, como codos, tees, bridas o válvulas, vienen identificados dentro de la línea, con la clase a la que pertenecen (#150 ó #300), tipo de caras para la unión (RF ó RTJ) y el ángulo si es un codo o el modelo si fuese una válvula o una brida.

Las tuberías se han diseñado a partir de los planos aportados por el promotor, estos se encuentran en el anejo "Datos de partida" y en la siguiente imagen se puede hacer una idea del entramado de tuberías de la unidad.

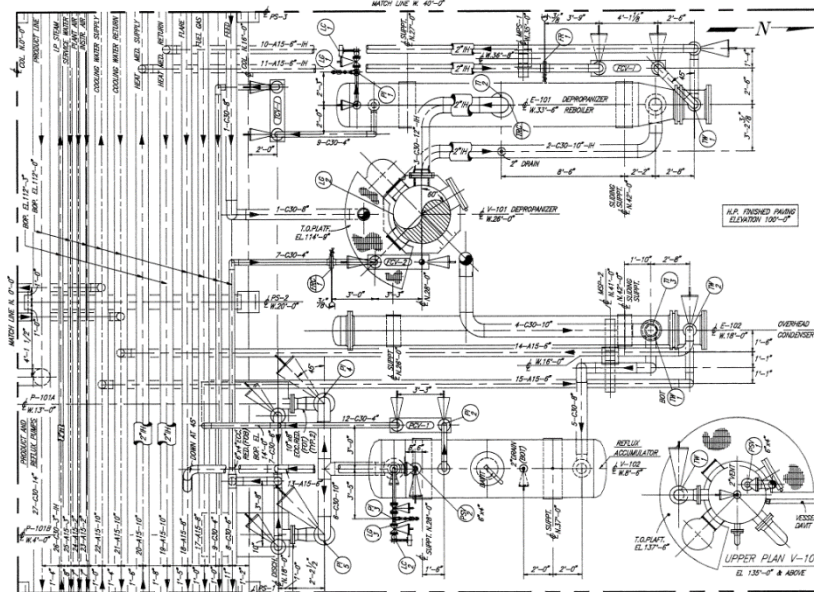


Imagen 17: plano de vista en planta de la unidad depropanadora aportado por el promotor.

5.4.1. Línea 1 → 1-C30-8

La línea 1 entra en la unidad por el rack en dirección oeste, con una temperatura de 210°F (98,9°C) y una presión de 255 PSIG (17,58 bar), para terminar en la parte media-alta de la torre de fraccionamiento, alimentándola con los gases de la nafta.

Atraviesa una de las plataformas de la torre de fraccionamiento, de acuerdo con el plano general de fabricación.

La tubería apoya ligeramente en la viga transversal CD del rack, por lo que se simulara la línea en CaePipe para ver cómo se comporta y que esfuerzos transmite al portante. También comprobaremos su deformación y verificaremos que cumple con la normativa ASME B31.1.

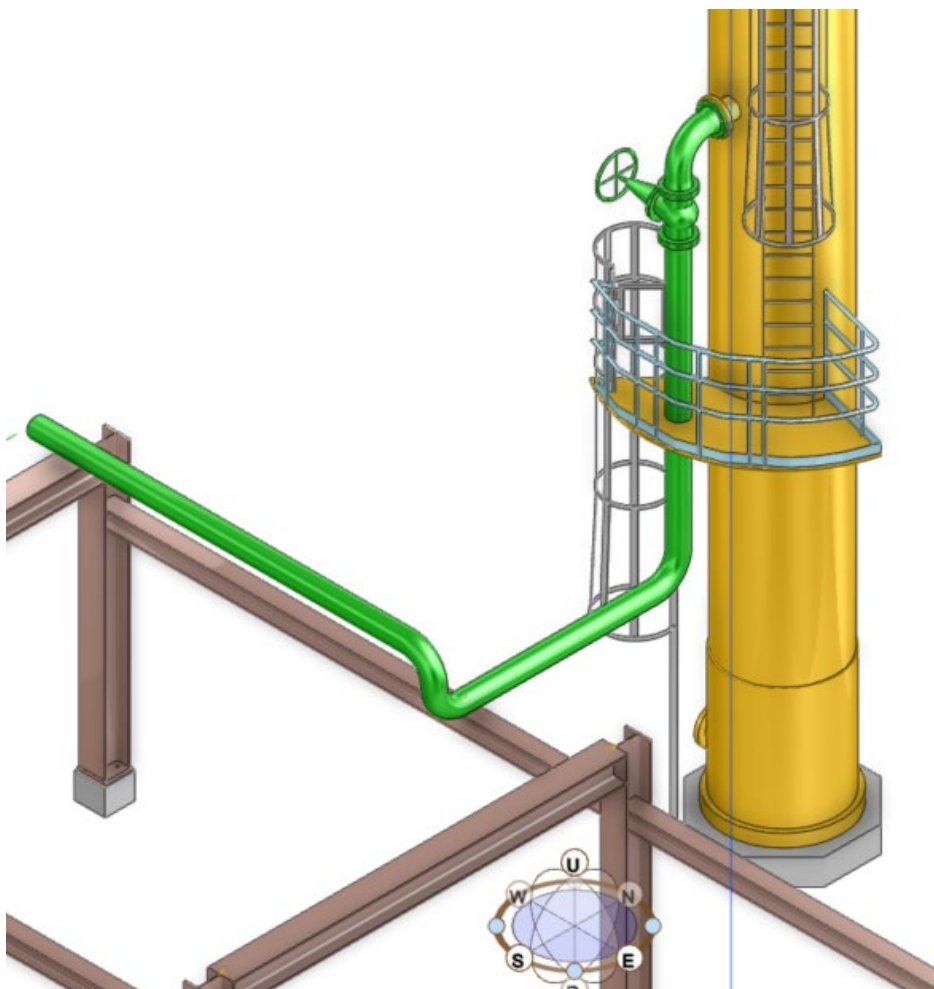


Imagen 18: captura de la línea 1-C30-8" junto con los equipos y estructuras con los que interviene

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.1. Línea 1". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_01". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo"

5.4.2. Línea 2 → 02-C30-10"

La línea 2 conecta la parte baja de la torre de fraccionamiento con la cabecera del intercambiador de calor hervidor 01-E-101, en dirección norte. Tiene una temperatura de 230°F (101°C) y es la encargada de llevar los productos más pesados de la torre de nuevo a recalentar.

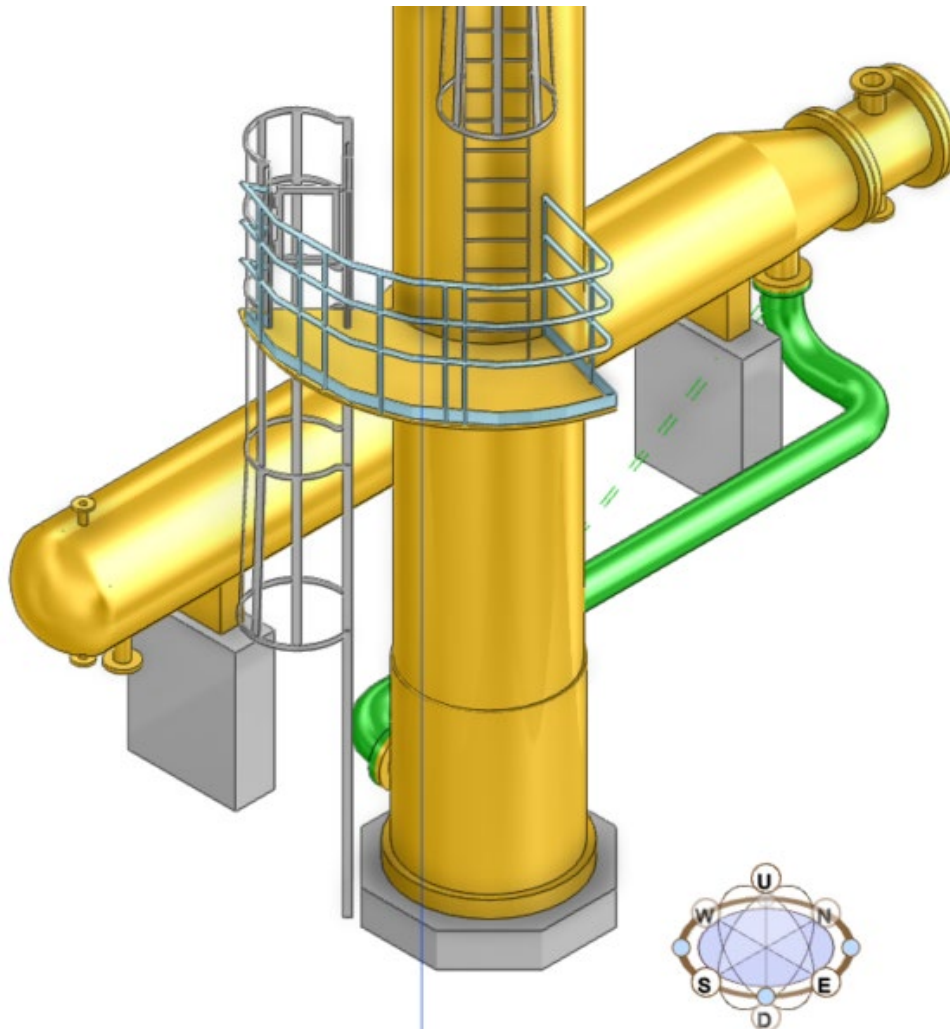


Imagen 19: captura de la línea 2-C30-10" junto con los equipos que conecta

No tiene ningún tipo de soporte, por lo que se sustenta de las toberas N1 de la torre y la C del intercambiador hervidor.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.2. Líneas 2 y 3". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_02". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".



5.4.3. Línea 3 → 03-C30-12”

La línea 3 conecta el final del intercambiador de calor E-101 de nuevo con la torre de fraccionamiento. Consiguiendo devolver el producto a una temperatura de 245°F (118,3°C) de nuevo a la torre.

No tiene ningún soporte, por lo que se sustenta mediante las toberas D del intercambiador hervidor y N2 de la torre.

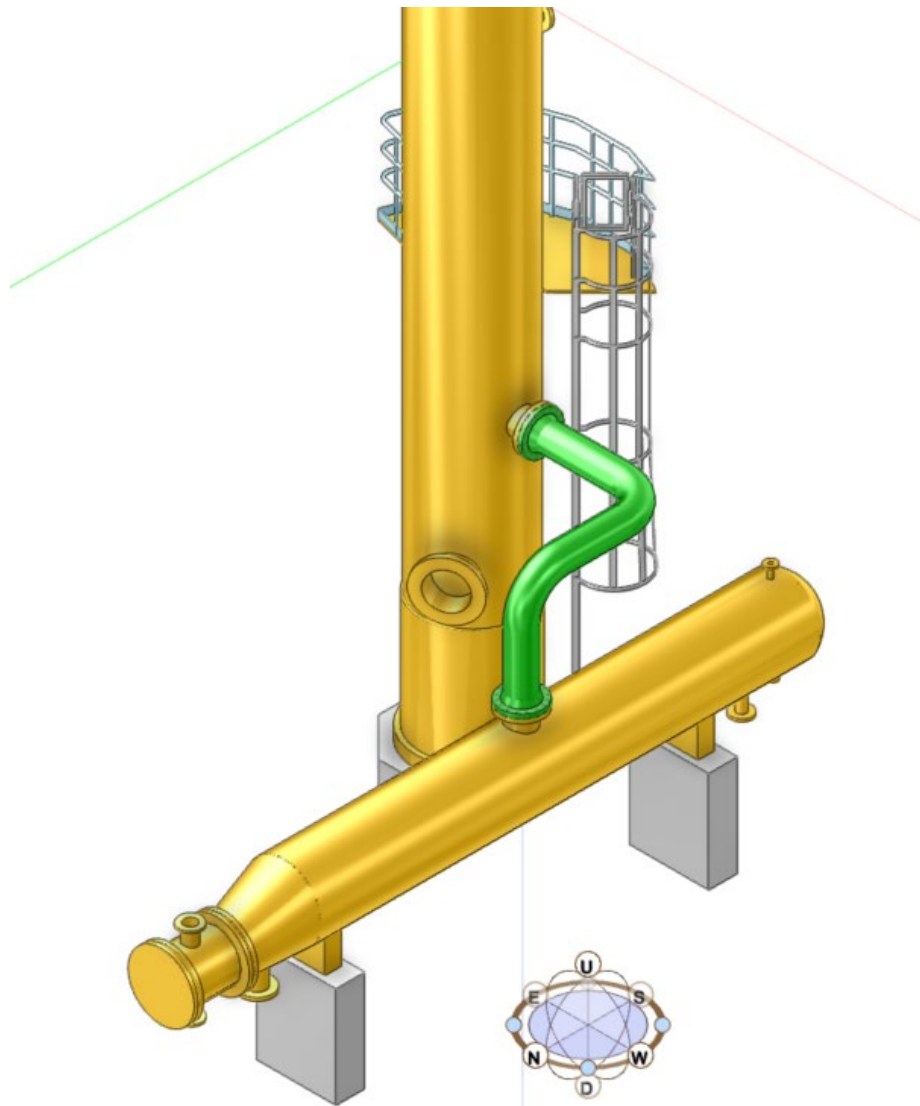


Imagen 20: captura de la línea 3-C30-12” junto con los equipos que conecta

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo “Datos de partida” apartado “7.2. Líneas 2 y 3”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_03”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”.

5.4.4. Línea 4 → 4-C30-10"

La línea 4 conecta el cenit de la torre de fraccionamiento, recogiendo propano a una temperatura de 125°F (51,7°C) y redirigiendo a la cabeza del intercambiador de calor 01-E-102 con el objetivo de enfriarlo y condensarlo.

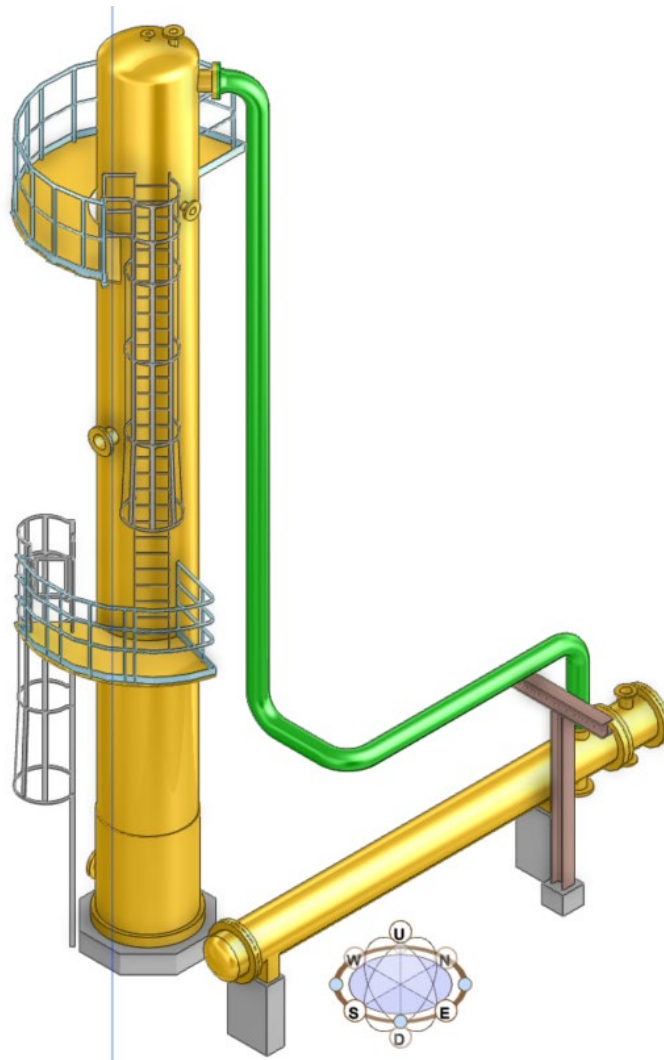


Imagen 21: captura de la línea 4-C30-10'' junto con los equipos y estructuras en los que interviene

En esta línea, para proteger la cabecera del intercambiador condensador E-102 del peso de la propia línea y de posibles movimientos, tiene un apoyo (que comparte con otras tres líneas) antes de su conexión.

Para poder calcular y estudiar el soporte donde apoyan las tuberías, se realizará un estudio de esta línea mediante CaePipe para ver su comportamiento y las reacciones que transmite al soporte largo Ñ.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.3. Línea 4". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_04". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.5. Línea 5 → 5-C30-8"

La línea 5 se encarga de mover el producto ya limpio tras su condensación en el final del intercambiador de calor condensador E-102 al depósito donde esperará a una temperatura de 118°F (47,8°C) hasta ser bombeado hasta la siguiente etapa.

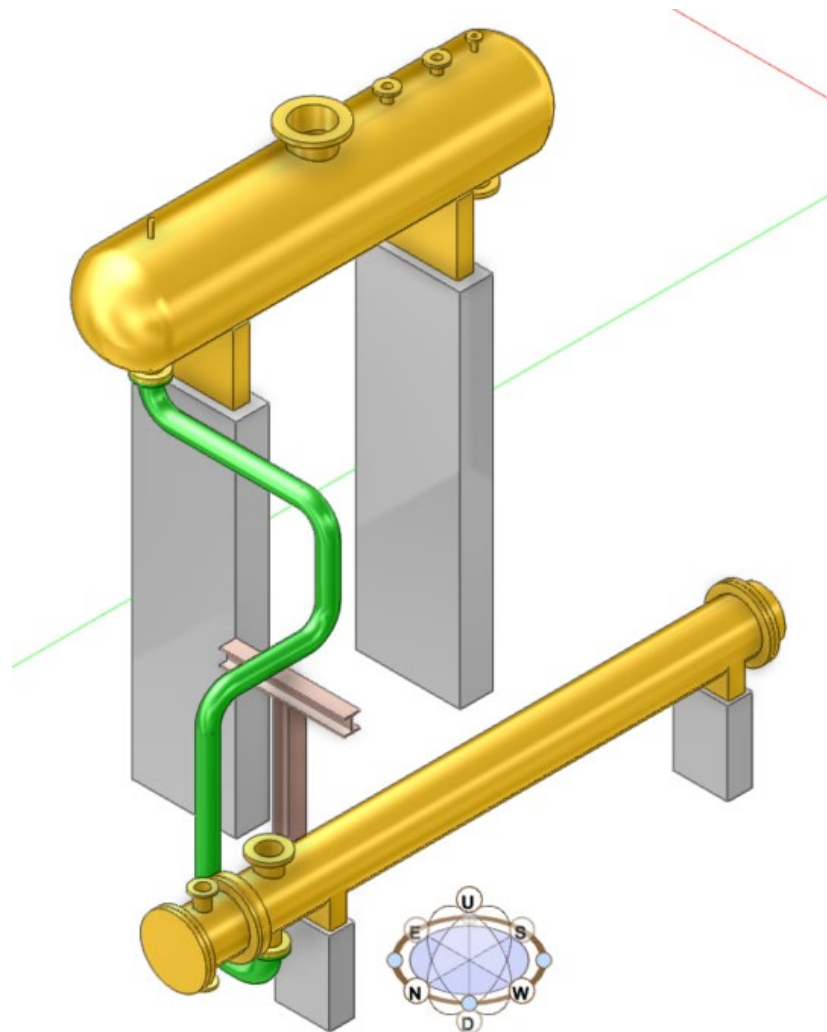


Imagen 22: captura de la línea 5-C30-8" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Esta línea, como sucedía con la línea anterior 4-C30-10", apoya en el soporte largo Ñ para liberar de tensiones a las toberas del depósito y del intercambiador. Para ver cómo se comporta en el apoyo, obtener las cargas que le trasmite, poder dimensionar mejor el soporte largo Ñ y comprobar que las tensiones de las toberas de los equipos cumplen la norma, se va a simular esta línea completa en CaePipe.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.4. Línea 5". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_05". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.6. Línea 6 → 6-C30-10"

La línea 6, se monta con un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300.

Esta línea es la encargada de conectar el depósito donde espera el producto, con las bombas que lo bombearan hasta su siguiente parada.

Para facilitar el bombeo se disponen dos bombas en paralelo, dividiendo la línea en dos ramas, cada una con una válvula de compuerta independiente.

El primer Branch o ramal (6-C30-9/B1), comienza en la tobera N2 del depósito, pasa por la Tee de bifurcación, y luego hasta la tobera A de la bomba P-101B. En cambio, el segundo ramal (6-C30-9/B2), comienza en la tee y termina en la tobera A de la bomba P-101A.

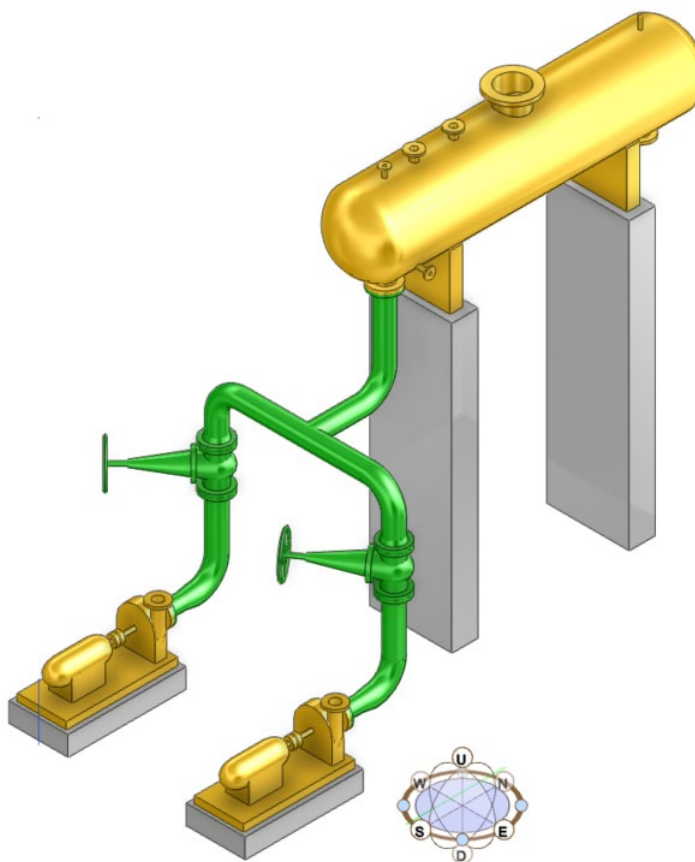


Imagen 23: captura de la línea 6-C30-10" junto con los equipos que conecta

Esta línea es la encargada de conectar depósito con las toberas de succión de las bombas. Esta unión, debe ser lo suficientemente rígida sin cargar en exceso las toberas de las bombas. Para comprobar que la conexión con las bombas no pelagra y que están cumplen con la normativa API, se simulará la línea 6 y la conexión a las bombas en CaePipe. Siendo uno de los estudios más complejos e interesantes del proyecto.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.5. Línea 6". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_06". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"

Esta línea es la encargada de la descarga del producto desde las bombas centrífugas recorriendo dos caminos diferentes dependiendo de si el producto está listo o necesita volver a pasar por la torre de fraccionamiento. La primera línea, encargada de la descarga de las bombas, tiene un ramal de 6 pulgadas de diámetro, Schedule STD y clase #300. Sale de la parte alta de las bombas por la tobera B para unir los dos ramales de cada bomba y llegar a lo alto del rack, donde se divide, manteniendo el diámetro en un ramal, el cual abandona la unidad por el rack en dirección este, y otro ramal de menor tamaño hacia la torre de fraccionamiento, el cual tiene un diámetro de 4 pulgadas, Schedule STD y clase #300. Este ramal está controlado por una estación de válvulas de control apoyada en un trunnio y con una señal de caudal instalada aguas atrás de la estación, que decide si abrir el ramal y llevar parte del fluido de nuevo a lo alto de la torre de fraccionamiento, conectándose con la tobera N4 o no.

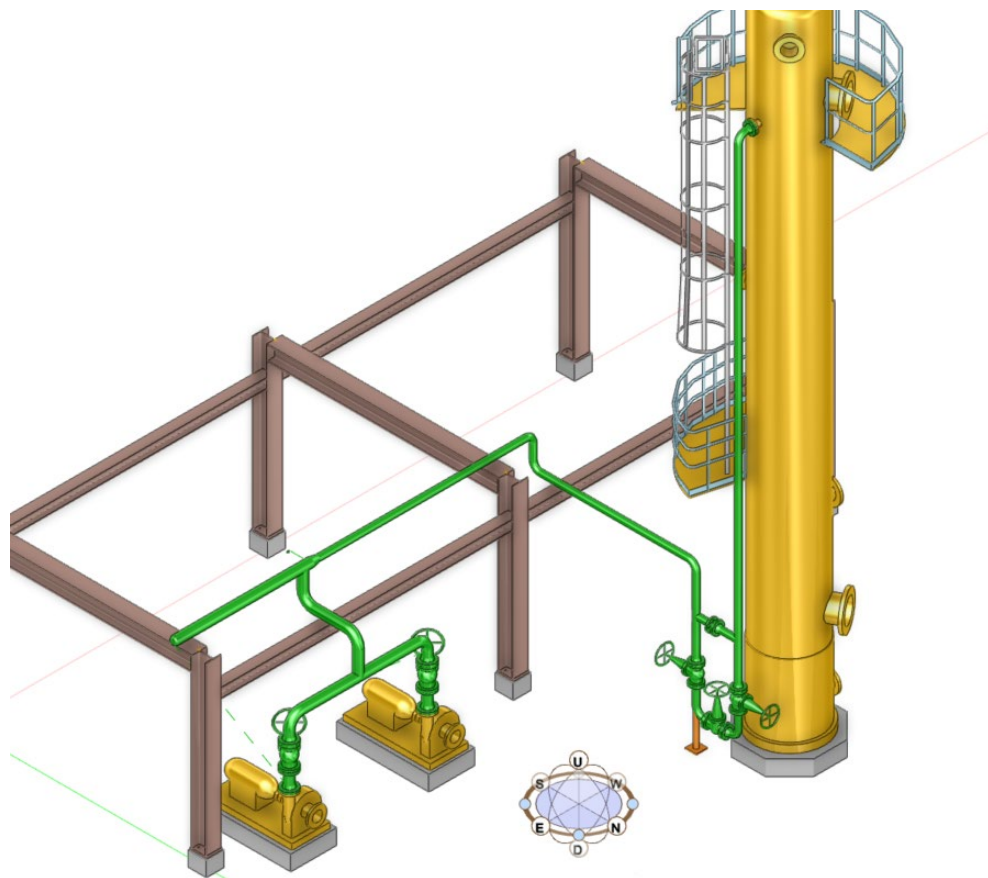


Imagen 24: captura de la línea 7-C30-4" y 7-C30-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Ya que el Branch 02-7-C30-6" está conectado a las bombas, para que cumplan estas la normativa API, es necesario simularla el comportamiento que hay en la tobera de descarga por este ramal de la línea 7. Por lo que es necesario su simulación en CaePipe.

Como el otro ramal 01-7-C30-4", baja desde lo alto de la torre de fraccionamiento hasta el suelo, donde tras la estación de control se sostiene con un trunnio y un soporte sobre la viga transversal AB del rack, se va a simular este ramal también, para ver cómo se comporta una línea tan larga verticalmente con el viento, para comprobar el funcionamiento del trunnio y obtener los valores de carga de la línea sobre el portante izquierdo "Viga transversal AB".

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo “Datos de partida” apartado “7.6. Línea 7”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_07”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”.

(No existe la línea 8)

5.4.8. Línea 9 → 9-C30-4”

La línea 9, se monta con un diámetro de 4 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300.

Esta línea se encarga de retirar los restos de producto no útil sobrante del intercambiador de calor hervidor E-101. La línea comienza en la parte final del intercambiador, a su salida, a la altura aproximada de 1 metro instala una estación de válvulas de control sostenida por un trunnio. La estación de control está regulada por la señal de nivel que manda el Briddle #1 mediante una línea de aire del instrumento. La línea después continua al rack, por donde abandona la unidad dirección este.

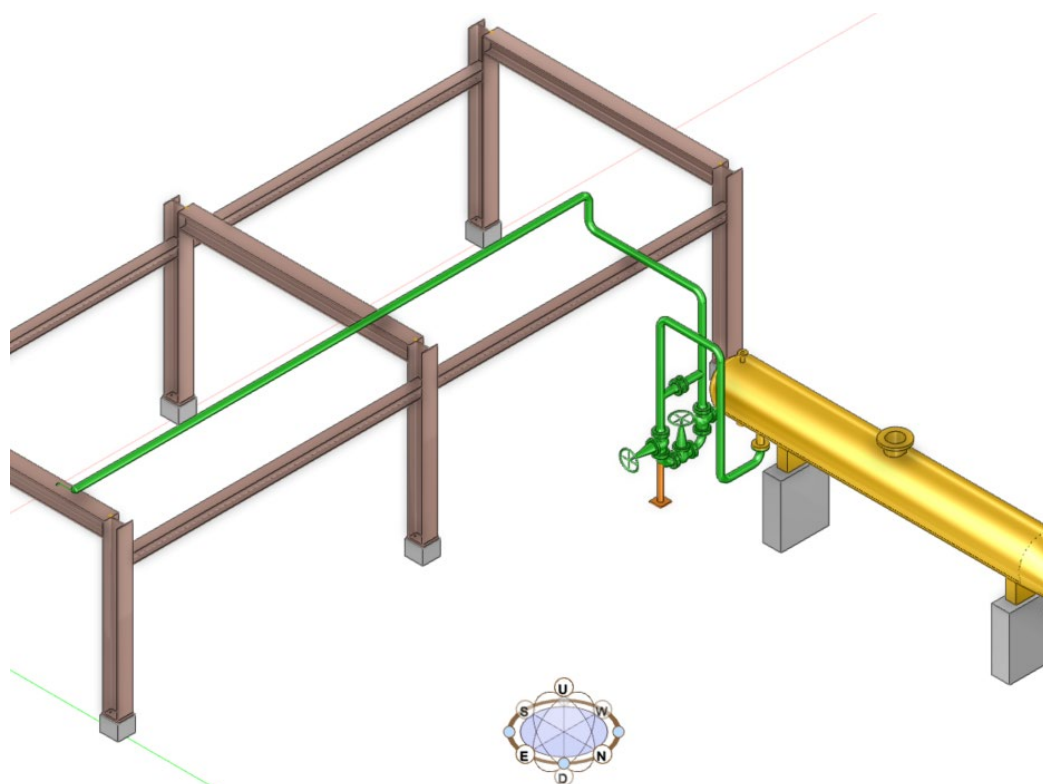


Imagen 25: captura de la línea 9-C30-4” junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Esta línea, por la instalación del trunnio tras la estación de control y por apoyar sobre la viga transversal CD, se va a simular en CaePipe para obtener su comportamiento sobre el portante y analizar el soporte Trunnio por si es necesario limitar su desplazamiento en alguna dirección.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo “Datos de partida” apartado “7.7. Línea 9”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_08”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”.

5.4.9. Línea 10 → 10-A15-6"

La línea 10 tiene un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea es la encargada de retirar del intercambiador hervidor el fluido que tras calentar el producto, ha perdido su calor. Al comienzo de la línea, tras la tobera y la junta, hay una válvula manual que permite cerrar la línea para que no se vacíe el intercambiador cuando este no esté en uso.

Después continua hasta el rack para conectarse a la línea 19-A15-10" mediante una Tee y un reductor concéntrico.

Esta línea está sustentada por dos apoyos, el primero es un apoyo compartido con la línea 11-A15-6", basado en un soporte en T "soporte corto W", y el segundo, en la viga transversal CD del rack. Para saber cómo se comporta la línea sobre estos apoyos y las cargas que los transmite, se simulará en CaePipe.

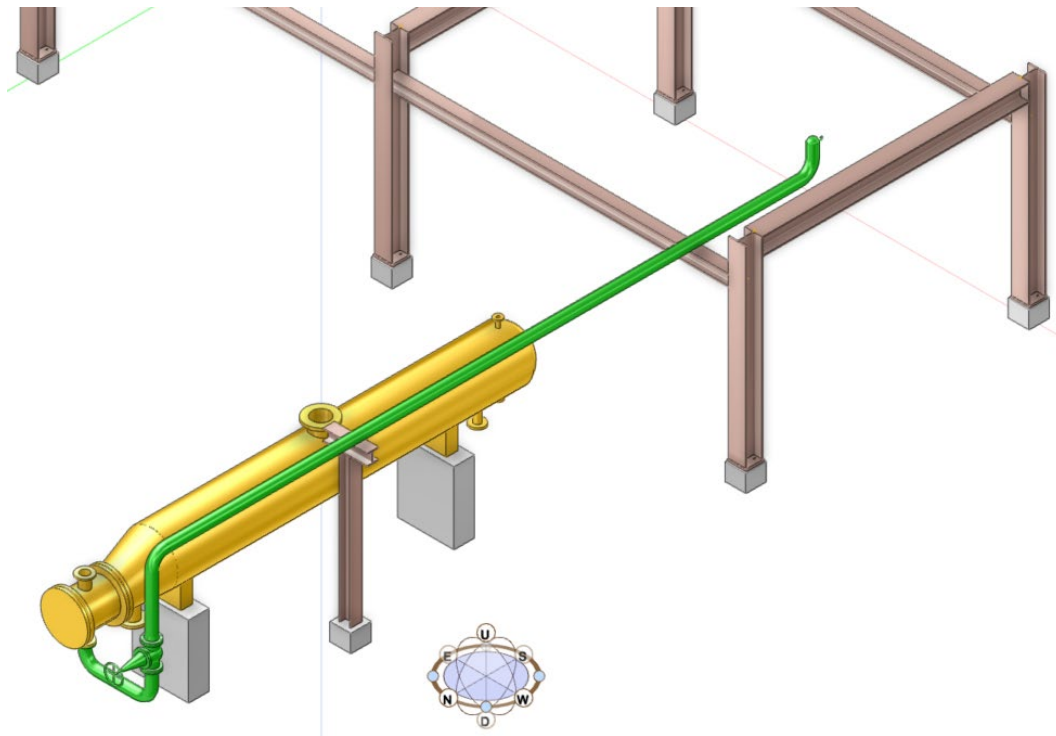


Imagen 26: captura de la línea 10-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.8. Línea 10". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_09". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.10. Línea 11 → 11-A15-6"

La línea 11 se monta en un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule estándar y una clase de #150.

Esta línea es la encargada de alimentar el intercambiador hervidor E-101 de fluido caliente capaz de recalentar el producto para poderlo reintroducir en la torre de fraccionamiento. Para controlar la entrada del fluido caliente, antes de la entrada del intercambiador se instala una estación de válvulas de control sostenidas por un trunnio. Esta estación de control depende de la temperatura dentro del reboiler. Esta línea es una derivación de la línea 20-A15-10" justo sobre el rack, la cual comienza con un reductor de diámetro concéntrico.

En esta línea, como sucedía con la línea anterior, se sostiene gracias a dos apoyos, uno en el soporte corto W y otro en la viga transversal CD, además, como sucedía con la línea 10-A15-6" tiene una longitud horizontal donde el viento puede incidir con más fuerza, por lo que es necesario simularla al detalle en CaePipe y ver cómo se comporta en los apoyos.

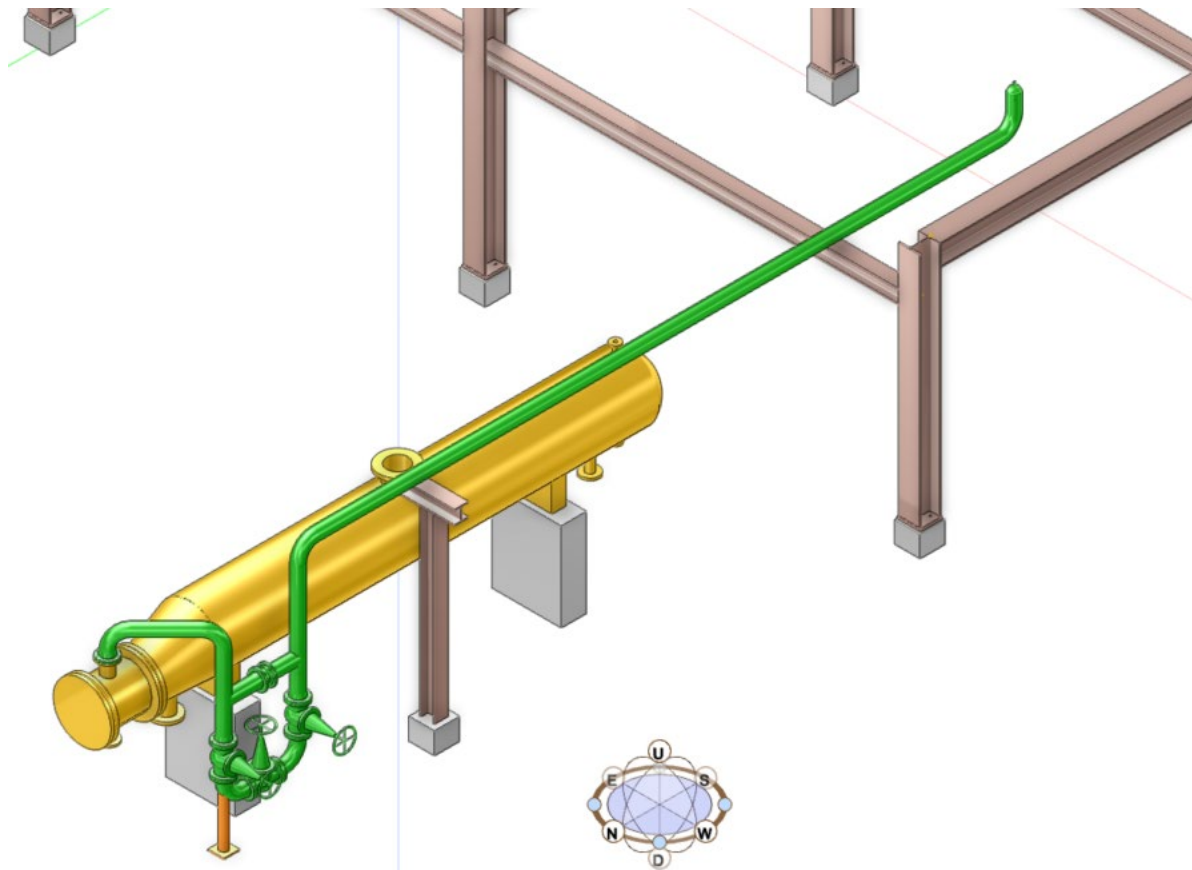


Imagen 27: captura de la línea 11-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.9. Línea 11". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_10". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.11. Línea 12 → 12-C30-4"

La línea 12 monta un diámetro general de 4 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Comienza en lo alto del depósito V-102 para bajar hasta el suelo donde se encuentra una estación de válvulas de control sostenida mediante un trunnio. La estación de control está gobernada por el instrumento de medición de nivel BRIDDLE #2, que manda la señal dependiendo del nivel de producto que haya en el depósito. La línea continúa hacia el rack al que entra por arriba para conectarse mediante una Tee con la línea 17-A15-8" y abandonar la unidad.

Esta tubería transporta el gas combustible (fuel gas).

Esta línea, aun teniendo un trunnio no se va a simular la línea, ya que no se apoya directamente en el Rack ni las tensiones que soporta su trunnio serán máximas.

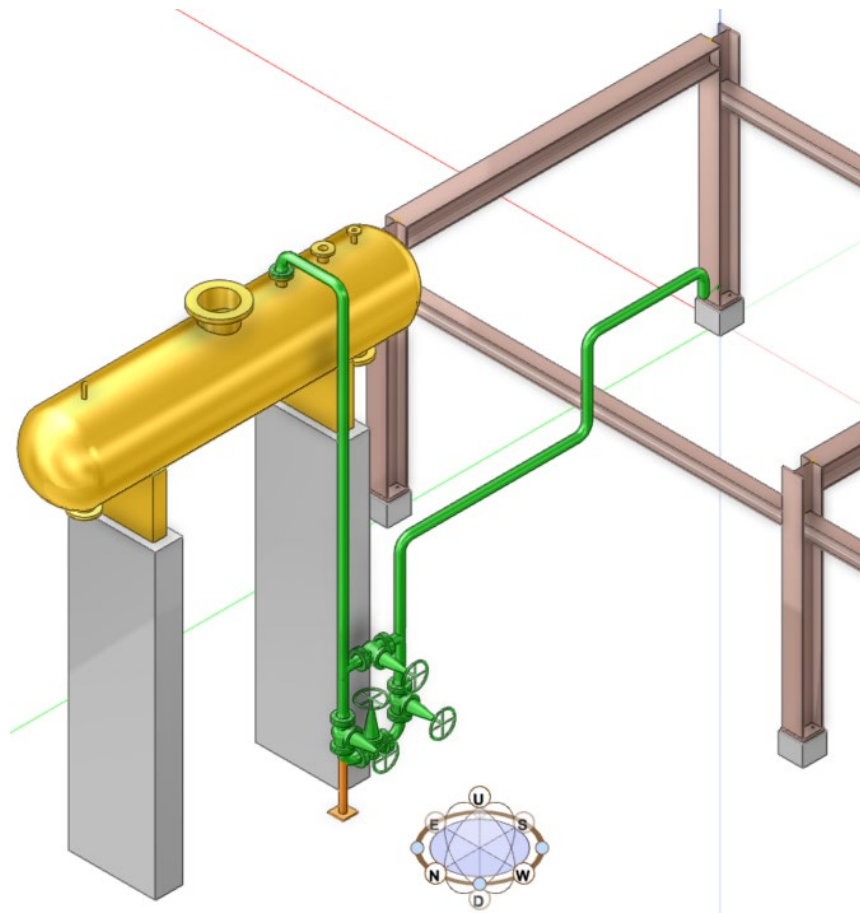


Imagen 28: captura de la línea 12-C30-4" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.10. Línea 12". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_11". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.12. Línea 13 → 13-A15-6"

La línea 13 está diseñada con un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Esta línea comienza en lo alto del depósito V-102, en la tobera N5, donde según sale tiene una válvula de globo con apertura manual, y acto seguido una válvula de seguridad de presión (PSV2), que salta cuando la presión en el interior del depósito sube de su límite establecido.

Esta línea va directa a la antorcha, donde quemar los gases que se acumulan en el depósito y no se pueden reutilizar para otro proceso.

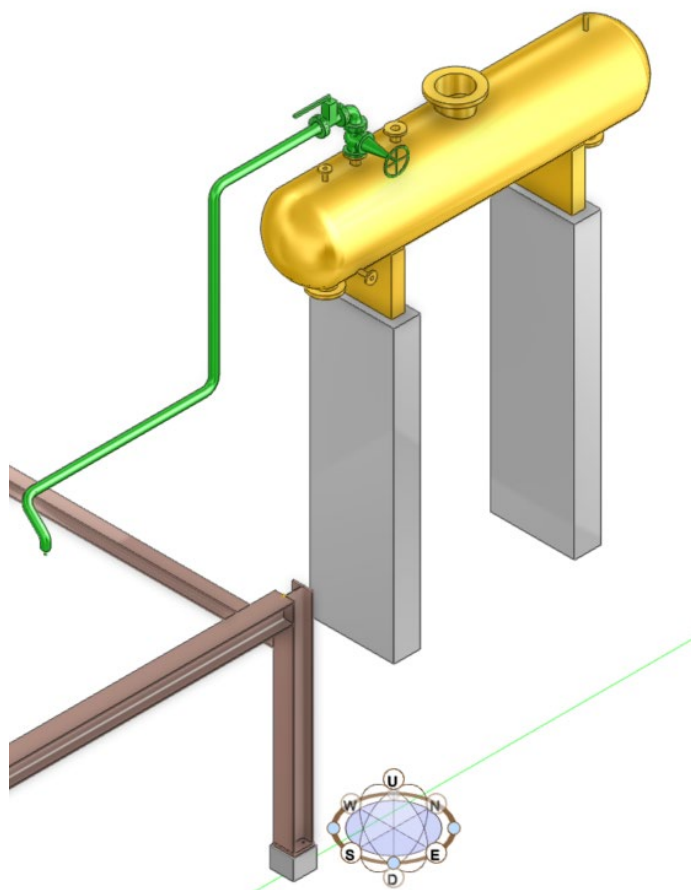


Imagen 29: captura de la línea 13-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Por falta de existencia en el programa de diseño "Aveva Everything 3D", para la digitalización de la válvula de seguridad por presión, se ha instalado una válvula de bola BS4460 #150 RF.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.11. Línea 13". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_12". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.13. Línea 14 → 14-A15-6"

La línea 14 tiene un diámetro nominal de 6 pulgadas un Schedule estándar y una clase de #150 libras.

Esta línea es la encargada de llevarse el fluido de refrigeración del intercambiador de calor E-102 cuando este ya no puede seguir enfriando el producto en el condensador.

Sale por la cabeza del intercambiador E-102 por la tobera B directamente conectado a una válvula de globo para poder cerrar la línea cuando se quiera vaciar para la limpieza o mantener lleno para evitar averías.

Esta línea se conecta con la línea 21-A15-10" sobre el rack, de abajo arriba, mediante un codo y una Tee con salida reducida.

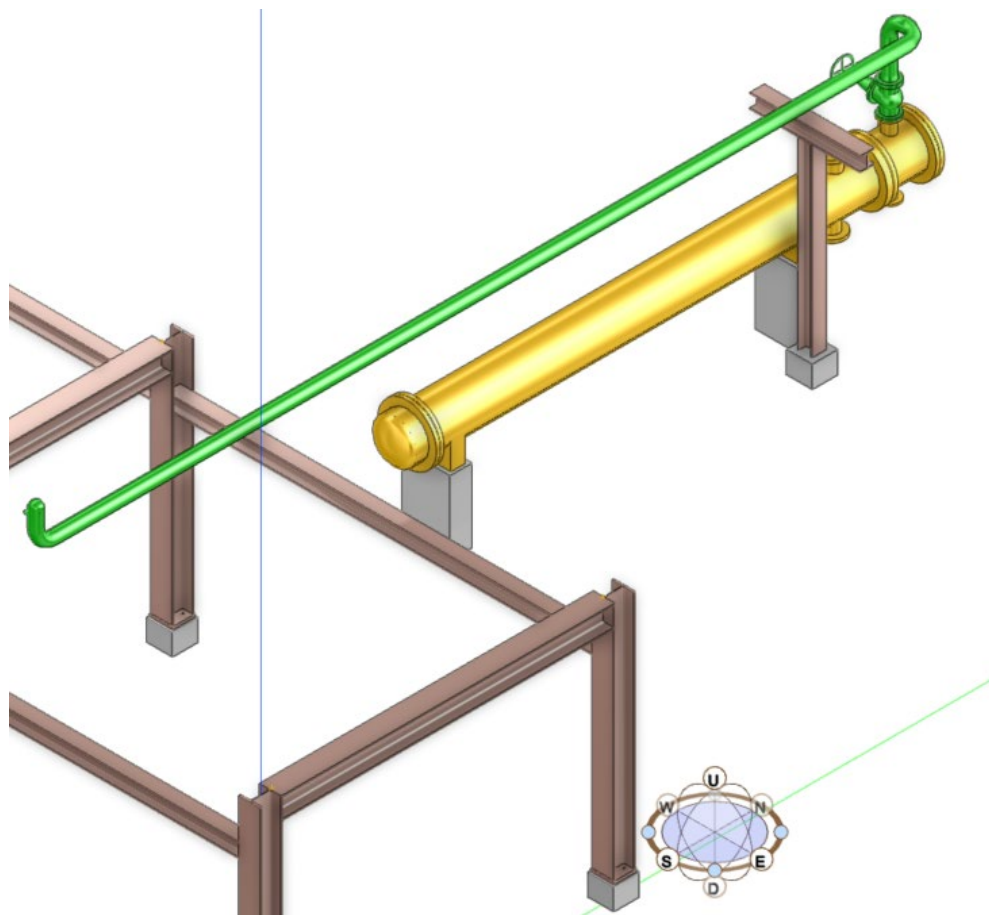


Imagen 30: captura de la línea 14-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Esta línea se apoya en dos puntos, el primero lo comparte con otras 3 líneas en el soporte largo Ñ, y el segundo es en la viga transversal AB del rack. por lo que habrá que estudiar la línea para ver cómo se comporta y que esfuerzos transmite a los apoyos para su correcto dimensionamiento.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.12. Línea 14". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_13". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.14. Línea 15 → 15-A15-6"

La línea 15 tiene un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea es la encargada de alimentar el intercambiador E-102 de refrigerante para la condensación del producto antes de pasar al almacenamiento. Esta línea nace en una derivación de la línea 22-A15-10" que circula por el rack para terminar en la cabeza del condensador, en la tobera A; directamente conectada mediante una válvula de globo con cierre manual para poder cerrar o abrir la línea para vaciar o llenar el condensador.

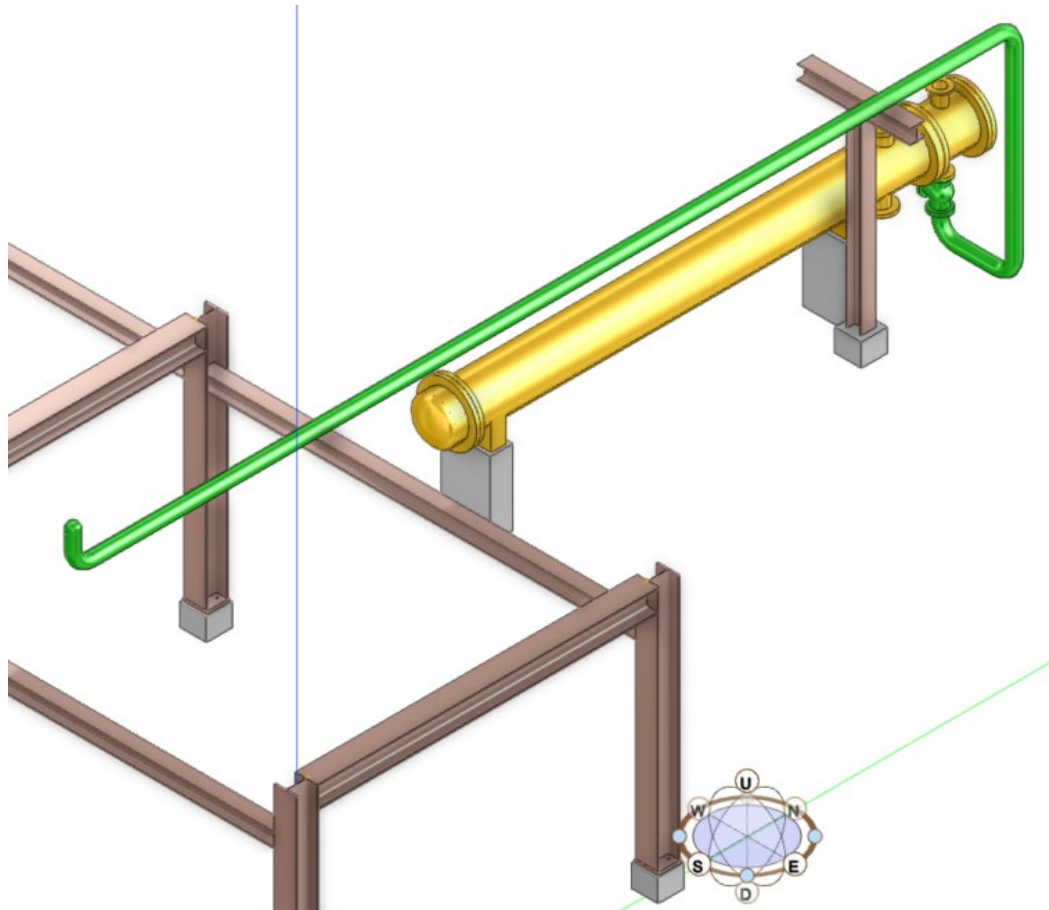


Imagen 31: captura de la línea 15-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene

Esta línea, igual que la anterior, está apoyada en dos puntos. El primero en el soporte corto Ñ que comparte con otras 3 líneas, y el segundo sobre la viga transversal AB. Por lo que se simulará para obtener el comportamiento y las reacciones sobre sus apoyos.

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo "Datos de partida" apartado "7.13. Línea 15". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_14". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

5.4.15. Línea 16 → 16-C30-2”

La línea 16 es una línea de desagüe de 2 pulgadas de diámetro, Schedule STD y clase de #300 libras. Que sirve para eliminar los restos de producto dentro del depósito.

Es una línea completamente vertical conectada al depósito por la tobera N3 y en el suelo directamente conectada al desagüe, con una válvula de globo manual a la altura de 1372mm que permite abrir y cerrar la línea dependiendo de lo que se necesite.

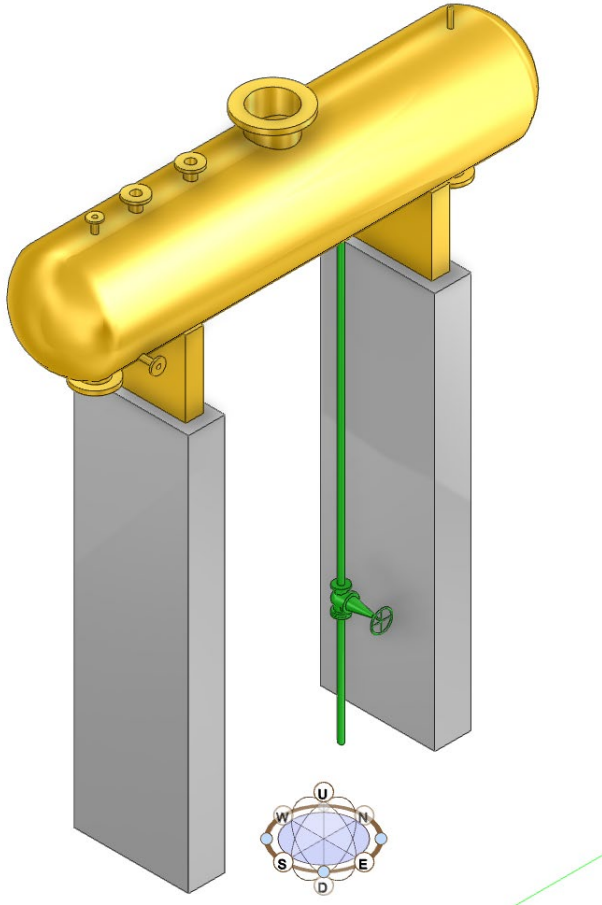


Imagen 32: captura de la línea 16-C30-2” junto con los equipos y estructuras en los que interviene

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en el anejo “Datos de partida” apartado “7.14. Línea 16”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_15”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”.

El resto de las líneas:

El resto de las líneas, son las que atraviesan la unidad depropanizadora a través del rack. Los únicos planos de fabricación e información de estas líneas se recogen en una única imagen que podemos encontrar en el apartado “3. Vista cenital de planta” del anejo “Datos de partida” y como imagen 16, en ese mismo documento. También podemos encontrar en el anejo “Planos”, un plano dedicado a estas líneas “Plano_TUBE_16”.

Para facilitar el entendimiento de las líneas que atraviesan únicamente el rack, se muestra la siguiente imagen obtenida de la digitalización en AVEVA E3D, que se puede encontrar en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

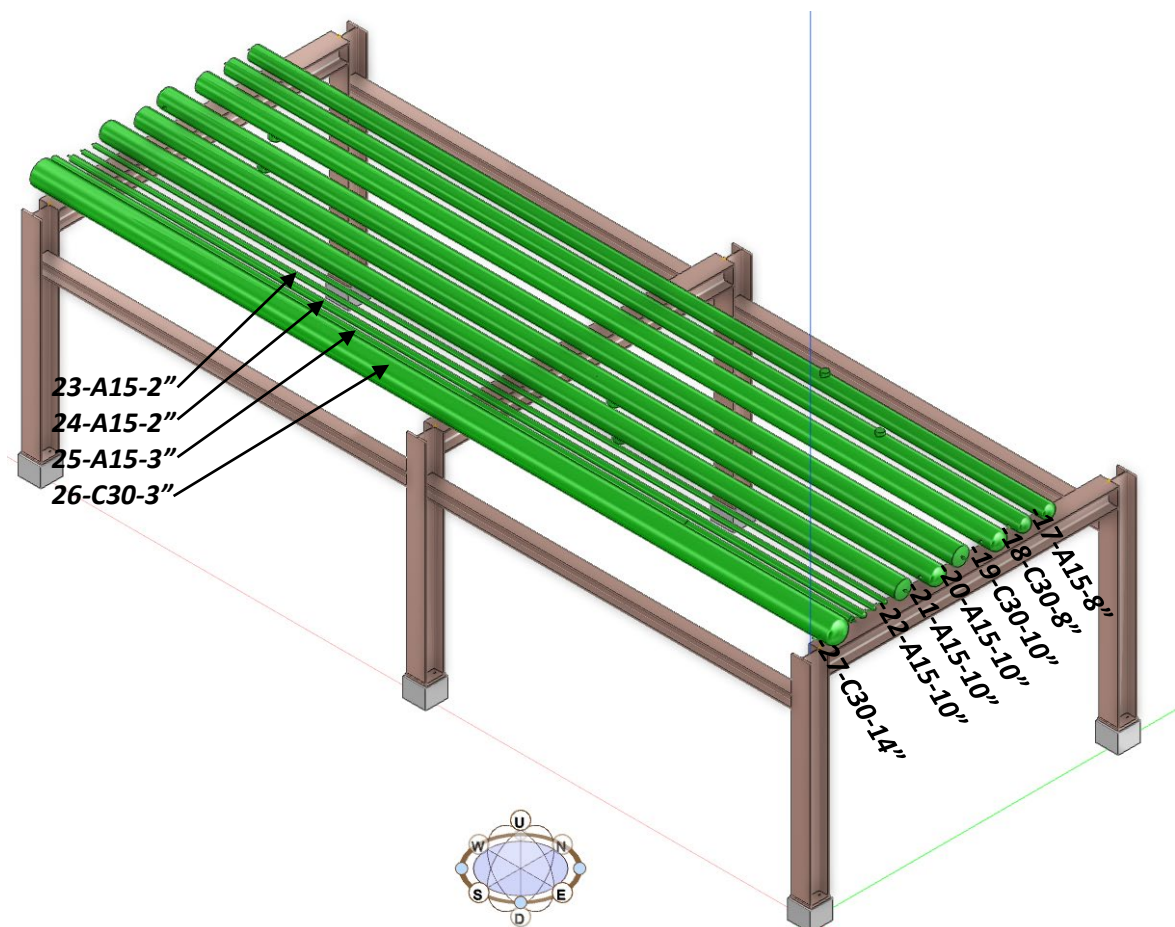


Imagen 33: captura de imagen de las 11 líneas que atraviesan el rack de oeste a este.

5.4.16. Línea 17 → 17-A15-8”

La línea 19 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea por donde circula el combustible gaseoso “FUEL GAS”.

5.4.17. Línea 18 → 18-A15-8”

La línea 18 tiene un diámetro de 8 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.



Esta línea es la encargada de llevar los sobrantes inflamables de diferentes procesos hacia la antorcha, donde serán quemados y eliminados “FLARE”.

5.4.18. Línea 19 → 19-A15-10”

La línea 19 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de recoger el fluido que ha servido para calentar equipos como el intercambiador hervidor 01-E-101 “HEAT MED. RETURN”.

5.4.19. Línea 20 → 20-A15-10”

La línea 20 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Por esta línea circula fluido caliente que se utiliza para alimentar equipos como el intercambiador hervidor 01-E-101 “HEAT MED. SUPPLY”.

5.4.20. Línea 21 → 21-A15-10”

La línea 21 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea es la encargada de recoger el agua que ha servido de refrigerante para diferentes equipos, como el intercambiador condensador 01-E-102, donde conecta el fluido que ya ha utilizado como refrigerante “COOLING WATER RETURN”.

5.4.21. Línea 22 → 22-A15-10”

La línea 22 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

La línea 22 alimenta de agua fría los equipos, como, por ejemplo, el intercambiador condensador 01-E-102 “COOL WATER SUPPLY”.

5.4.22. Línea 23 → 23-A15-2”

La línea 23 tiene un diámetro de 2 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea suministra aire a todos los instrumentos que lo necesiten “INSTR. AIR”.

5.4.23. Línea 24 → 24-A15-2”

La línea 24 tiene un diámetro de 2 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de llevar aire a las partes de la planta que lo requieran “PLANT AIR”.

5.4.24. Línea 25 → 25-A15-3”

La línea 25 tiene un diámetro de 3 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea que lleva el agua para diferentes servicios “SERVICE WATER”.

5.4.25. Línea 26 → 26-C30-3

La línea 26 tiene un diámetro de 3 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Es la línea por donde circula el vapor a baja presión “LP STEAM”.



5.4.26. Línea 27 → 27-C30-14"

La línea 27 tiene un diámetro de 14 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Es la línea por donde circula el producto "PRODUCT LINE".

5.5. BRIDDLES → Medidor/Controlador de nivel

Además de todas estas líneas, la unidad tiene dos medidores/controladores de nivel, que son los "BRIDDLE #1" y "BRIDDLE #2".

Los medidores/controladores de nivel están instalados en los equipos donde se necesita monitorizar y controlar fácilmente el nivel de producto en cada recipiente.

Miden y controlan el nivel, porque de la medición sacan una señal que se computarizada y manda una señal al elemento de control (válvulas de control actuadas de forma neumática por ejemplo).

5.5.1. BRIDDLE #1

Este medidor está conectado al intercambiador hervidor 01-E-101. El nivel normal de un equipo de esta categoría, suele ser la mitad de la altura del vertedero. El vertedero es una placa vertical dentro del hervidor que sirve como una presa para mantener el haz de tubos sumergido bajo el líquido, a medida que aumenta el nivel de líquido, el exceso de este fluirá sobre el vertedero y se extraerá a través de la tobera "E" que se conecta con la línea 9-C30-4" y se controlará mediante una estación de válvulas de control.

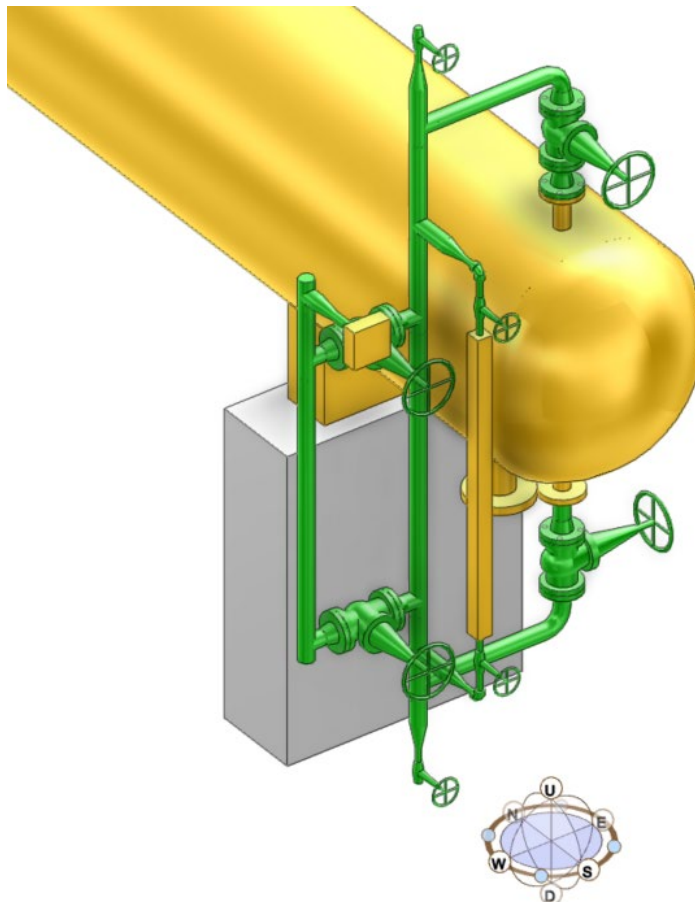


Imagen 34: captura de la digitalización del medidor Briddle #1

El plano de fabricación aportado por la contratista lo podemos encontrar en la imagen anterior y en el apartado "7.15. Briddle #1" del anejo "Datos de partida". También podemos encontrar el plano obtenido de la digitalización del modelo en el plano "Plano_TUBE_17" del anejo "Planos".

Es posible acceder a todos los datos del medidor y sus accesorios desde la digitalización que encontramos en el apartado "8. Visualización del modelo" en el anejo "Digitalización con AVEVA E3D".

5.5.2. BRIDDLE #2

Este medidor está conectado al depósito V-102. Este equipo normalmente trabaja con una línea de nivel que coincide con la línea central del equipo. Esta unidad marcará cuando se tiene que hacer el transvase del depósito a la siguiente estación.

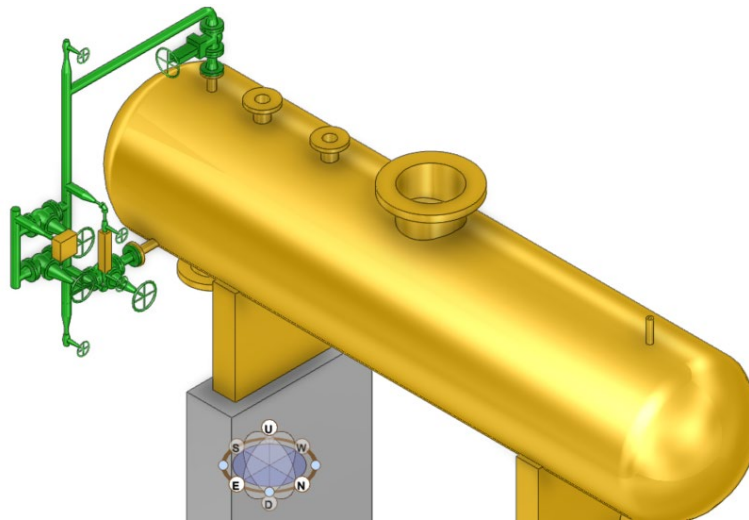


Imagen 35: captura de la digitalización del Briddle #2 en el depósito V-102

El plano de fabricación aportado por la contratista lo podemos encontrar en la imagen anterior y en el apartado "7.16. Briddle #2" del anejo "Datos de partida". También podemos encontrar el plano obtenido de la digitalización del modelo en el plano "Plano_TUBE_18" del anejo "Planos".

Es posible acceder a todos los datos del medidor y sus accesorios desde la digitalización que encontramos en el apartado "8. Visualización del modelo" en el anejo "Digitalización con AVEVA E3D".

5.6. Estación de válvulas de control

5.6.1. Válvula de control

Una válvula de control es una válvula automatizada que puede realizar ajustes precisos para regular y monitorizar cualquier producto que fluya a través de un sistema de tuberías.

La válvula de control más utilizada es la de globo, que por su funcionamiento permite regular y controlar el flujo de una manera más eficaz que el resto.

Las válvulas de control utilizan señales recibidas de instrumentos colocados en el sistema de tuberías para realizar pequeños ajustes automáticamente. Un instrumento que manda señales a una válvula de control podrían ser los medidores de nivel (BRIDDLE) visto anteriormente.

para poder operar fácilmente con la válvula de control, es necesario montar una estación de válvulas de control para poder facilitar el control y accesibilidad a la válvula.

5.6.2. Estación de válvulas de control

Esta estación de válvulas de control está formada por una serie de válvulas, accesorios y tuberías colocadas a nivel de una plataforma o del suelo con una válvula principal automática que controla y monitoriza el flujo de producto a través del sistema de tuberías.

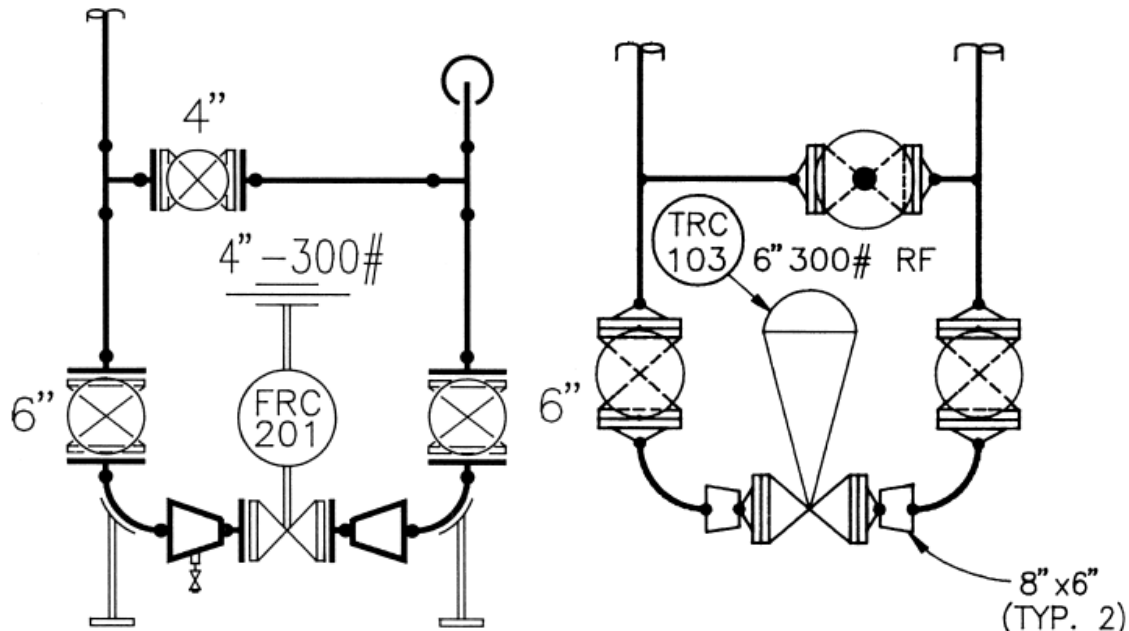


Imagen 36: Estación de válvulas de control muy similares entre sí. FRC (Flow recording controller) izquierda. TRC (Temperatura recording controller) derecha

Este tipo de estaciones están formadas normalmente por 4 tipos de válvula diferente.

La primera y principal, es la válvula de control. Esta recibe la información y mediante su actuador, normalmente neumático o hidráulico, abre o cierra para regula automáticamente el caudal de producto que circula por la tubería. Aunque en los planos de fabricación aparezcan las estaciones de control como la de imagen de la derecha, con una válvula de globo de actuación manual mediante un volante, gracias al P&ID (imagen 7 de este documento) vemos como todas las estaciones de control están controladas mediante una señal de datos.

Las válvulas a la derecha e izquierda de la válvula de control, se llaman válvulas de bloqueo, y sirven para cerrar el tramo de circuito donde se encuentra la válvula de control, para en el caso de sustitución, mantenimiento o reparación, se pueda acceder fácilmente a esta válvula sin tener que cortar la línea o el suministro de la planta.

Cuando las válvulas de control están cerradas, el producto es controlado manualmente por la válvula de derivación. Esta válvula de derivación, suele ser una válvula de globo, tapón o bola de regulación manual. Se encuentra en la línea de derivación sobre la válvula de control. Esta válvula mientras el fluido es controlado por la válvula de control, se mantiene cerrada.

El cuarto tipo de válvula es una válvula de desagüe o drenaje. Esta válvula se abre después de que se hallan cerrado las válvulas de bloqueo para drenar el producto antes de desmontar la válvula de control.

Como se ha mencionado en su descripción, las líneas 7-C30-4", 9-C30-4", 11-A15-6" y 12-C30-4" tienen una estación de válvulas de control para su regulación.

5.7. Elementos estructurales

Una estructura es un conjunto de partes unidas entre sí que forman un cuerpo, una forma o un todo, destinadas a soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Creando un conjunto de elementos para construir un entorno que cumpla las siguientes funciones:

- Proteja a la planta y a los operadores contra las inclemencias del tiempo
- Defienda a las personas y al medio ambiente de efectos nocivos en los procesos como el calor, el ruido, incendios, emisiones, etc.
- Facilite el soporte a equipos y tuberías

Estas estructuras metálicas se diferencian entre auxiliar y principal:

La estructura principal son todos aquellos elementos que transfieren cargas a la cimentación y dotan de estabilidad y rigidez a la estructura.

Mientras que una estructura metálica auxiliar, será la que le nos ayude a cubrir o decorar nuestra estructura principal para añadir el cerramiento

La mayor parte de los edificios industriales, estructuras auxiliares y rack se construyen en acero, descansando sobre cimientos y bancadas de hormigón. Aunque también existen rack fabricados completamente en hormigón.

5.7.1. Rack

Un rack es una estructura de carácter lineal constituida mediante pórticos de una o varias elevaciones y unidos longitudinalmente por largueros o vigas transversales, esto es esencial para dotarlo de gran rigidez. Esta estructura está destinada a soportar las tuberías que discurren entre unidades, subunidades, zonas de almacenamiento y la conexión con el exterior. Principalmente se utiliza en procesos químicos o petroquímicos, de implantación abierta.

Pueden ser de baja, media o alta elevación según lo que transporte, el terreno o la disposición de la planta.

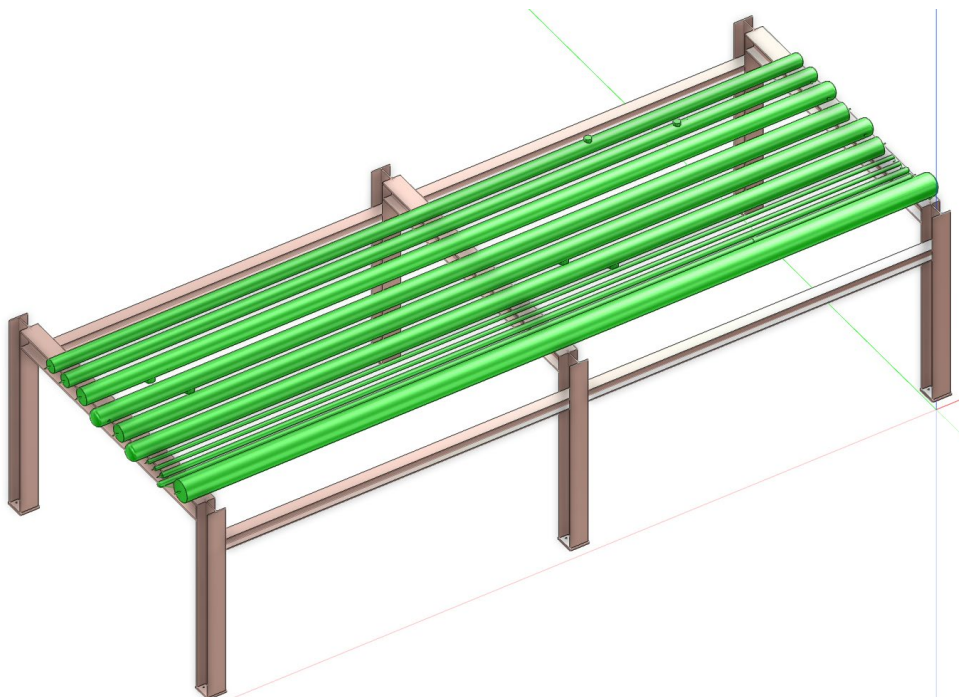


Imagen 37: imagen del Pipe Rack tomada de la digitalización del modelo

El rack se va a calcular de forma analítica, separándolo en partes más simples y analizándolo mediante el método de superposición de esfuerzos. Después se analizará de forma digital mediante Autodesk Inventor y el análisis de estructuras, se analizará de dos formas, en partes más simples para comprobar los cálculos analíticos y en conjunto para comparar las variaciones.

5.7.2. Soportes

Un soporte de tuberías es un mecanismo cuya función es servir de apoyo a las tuberías y mantenerlas en la posición establecida, tanto en régimen normal como ocasional o de emergencia.

Funciones de los soportes:

- Transmitir al suelo, techo, pared o estructura auxiliar que tengamos las cargas debidas a las tuberías
 - o Los tendidos de tuberías hay que analizarlos para determinar las tensiones a las que se somete el material y los valores de las fuerzas y momentos con los que interactúan con la estructura que contiene el sistema.
 - o Esta interacción se realiza a través de los soportes de tubería y de los equipos a los que conectan y constituye la primera función de los soportes.
 - o Para que sirva de orientación y truco de diseño, normalmente cada soporte va a recibir una carga alrededor (expresada en kilos) de 100 veces el diámetro en pulgadas de la tubería, es decir, una tubería de 1", el soporte se calcula para 100kilos.
- Controlar las deformaciones, evitando flechas excesivas.
 - o Las flechas deben estar limitadas por razones de código y de diseño.
 - o Los giros debidos a la torsión también están limitados por diseño a 0,015Rad.

5.7.2.1. Soporte corto W

Este soporte es una estructura metálica en forma de T que soporta las tuberías 10-A15-6" y 11-A15-6". Está ubicado en la zona más noreste de la unidad. Soportando las tuberías que alimentan el intercambiador hervidor. El pilar tiene una altura de 3048mm y la viga que lo corona una longitud de 762mm sujeta en el centro. Se unen al terreno mediante una cimentación cubica y una placa de anclaje.

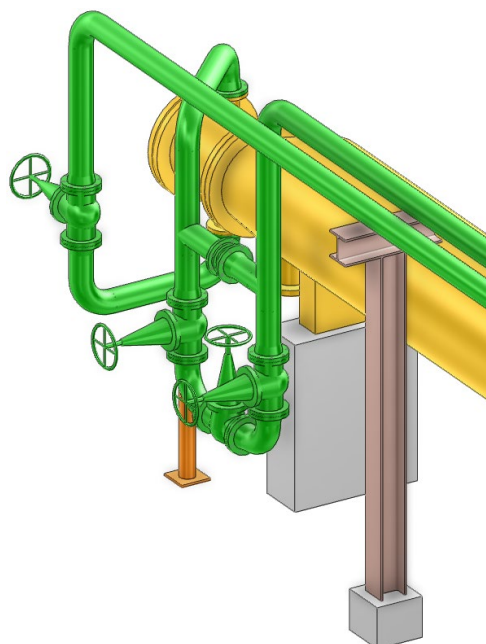


Imagen 38: captura del soporte corto W obtenida de la simulación en AVEVA E3D

5.7.2.2. Soporte largo Ñ

Este soporte es una estructura metálica en forma de T que soporta cuatro tuberías; 15-A15-6", 5-C30-8", 14-A15-6" y 4-C30-10". Este soporte está fabricado con perfiles de acero HEB-160.

Este soporte está ubicado en la zona central de la unidad entre el intercambiador E-102 y el depósito V-102.

Se unen al terreno como el anterior, mediante una cimentación cubica y una placa de anclaje.

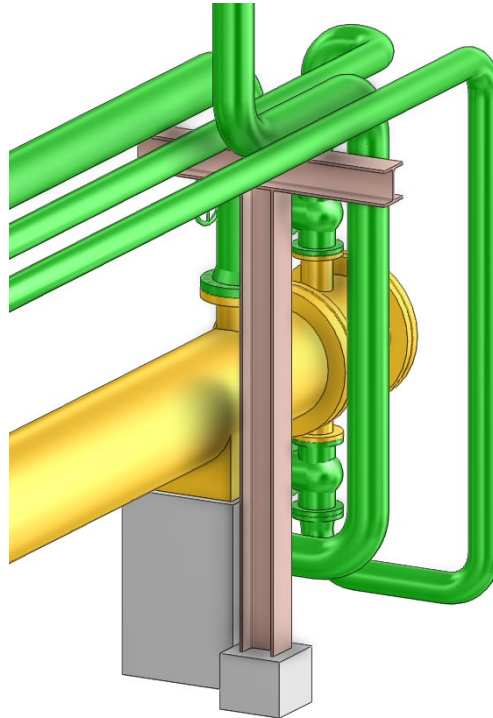


Imagen 39: captura del soporte largo Ñ obtenida de la simulación del proyecto en AVEVA E3D

5.7.3. Trunnio

Los Trunnion son un tipo de soporte que se utiliza para soportar el peso de la tubería en aquellos lugares donde apenas tiene movimiento o este es mínimo.

Se instalan normalmente en codos mediante una soldadura y apoya en el terreno mediante una placa. La placa, dependiendo de los requisitos de diseño puede estar fija o limitar el movimiento en alguna de las direcciones (instalando un perfil rectangular perpendicular a la dirección que se quiera limitar, haciendo este perfil de tope deslizante y permitiendo deslizar en la otra dirección).

En nuestra unidad hay 4 trunnions, uno en cada estación de válvulas de control. Se han simulado 3 de los 4 en CaePipe, y en trunnion que de la línea 7-C30-4" se ha simulado en diferentes posiciones y se ha sustituido por otros soportes para demostrar la idoneidad de su utilización.

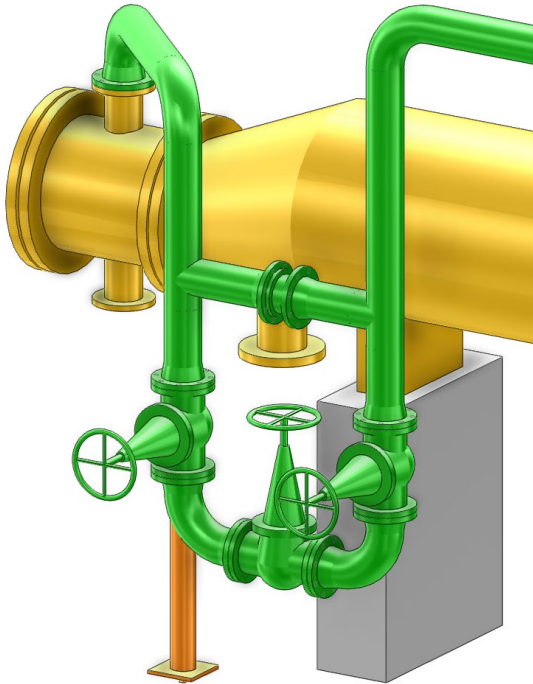


Imagen 40: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 11

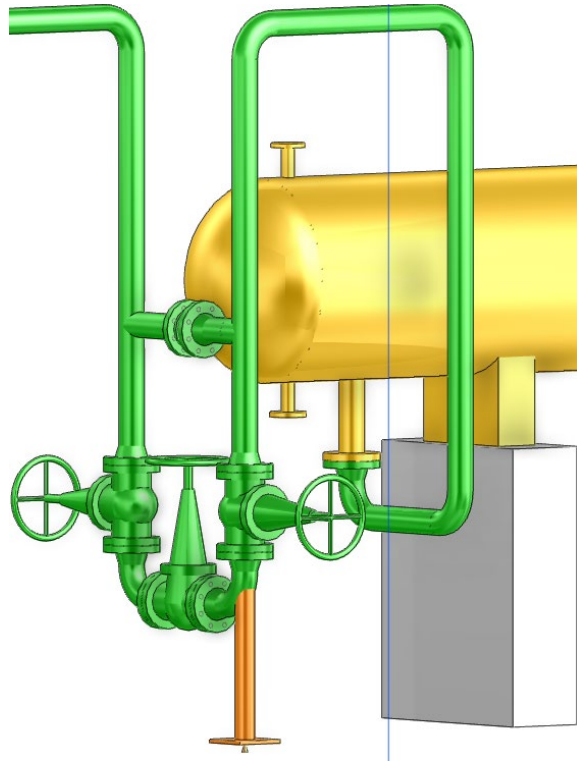


Imagen 41: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 9-C30-4"

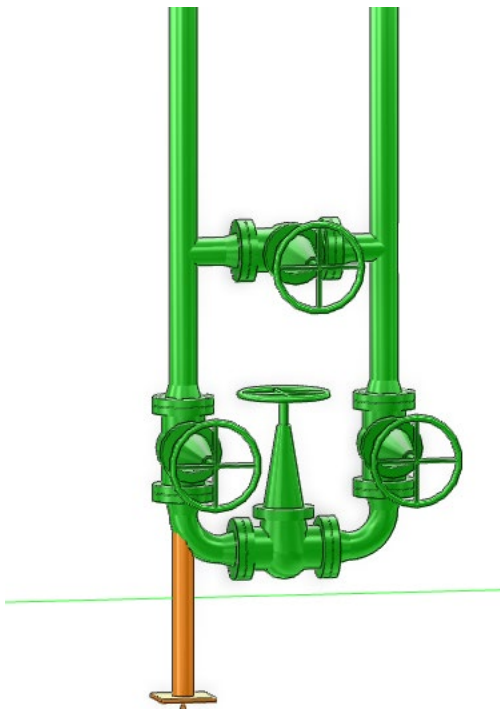


Imagen 42: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 12-C30-4"

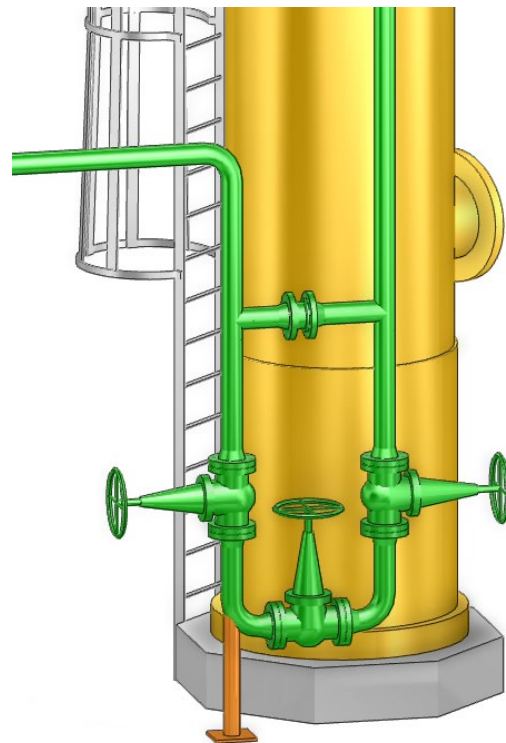


Imagen 43: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 7-C30-4



Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

2. Memoria constructiva



2. Memoria Constructiva

1. Equipos	3
1.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora → V-101	3
1.2. Deposito acumulador → V-102	4
1.3. Intercambiador hervidor → E-101	5
1.4. Intercambiador condensador → E-102	6
1.5. Bombas P-101A y P-101B	7
2. Tuberías	8
2.1. Línea 1 → 1-C30-8"	9
2.2. Línea 2 → 02-C30-10"	10
2.3. Línea 3 → 03-C30-12"	11
2.4. Línea 4 → 4-C30-10"	12
2.5. Línea 5 → 5-C30-8"	13
2.6. Línea 6 → 6-C30-10"	14
2.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"	15
2.8. Línea 9 → 9-C30-4"	17
2.9. Línea 10 → 10-A15-6"	18
2.10. Línea 11 → 11-A15-6"	19
2.11. Línea 12 → 12-C30-4"	20
2.12. Línea 13 → 13-A15-6"	21
2.13. Línea 14 → 14-A15-6"	22
2.14. Línea 15 → 15-A15-6"	23
2.15. Línea 16 → 16-C30-2"	24
2.16. Líneas sobre el rack	25
2.16.1. Línea 17 → 17-A15-8"	26
2.16.2. Línea 18 → 18-A15-8"	26
2.16.3. Línea 19 → 19-A15-10"	26
2.16.4. Línea 20 → 20-A15-10"	26
2.16.5. Línea 21 → 21-A15-10"	26
2.16.6. Línea 22 → 22-A15-10"	27
2.16.7. Línea 23 → 23-A15-2"	27
2.16.8. Línea 24 → 24-A15-2"	27
2.16.9. Línea 25 → 25-A15-3"	27
2.16.10. Línea 26 → 26-C30-3	27



2.16.11.	Línea 27 → 27-C30-14"	27
2.17.	Bridle #1	27
2.18.	Bridle #2	29
3.	Estructuras	30
3.1.	Rack	30
3.2.	Soporte corto W	31
3.3.	Soporte largo Ñ	32
3.4.	Trunnions	33
3.4.1.	Trunnion línea 7-C30-4"	33
3.4.2.	Trunnion línea 9-C30-4"	34
3.4.3.	Trunnion línea 11-A15-6"	35
3.4.4.	Trunnion línea 12-C30-4"	36
3.5.	Soporte extra para las bombas	37

1. Equipos

Los equipos de la unidad han sido encargados a un tercero por la promotora para su fabricación y puesta en obra. En este documento únicamente se incluirán los datos geométricos de los equipos y los pocos datos de funcionamiento que conocemos.

Los equipos donde se hará más hincapié, será en las bombas ya que se han simulado y necesitan de una corrección para el cumplimiento de la norma.

1.1. Torre de fraccionamiento depropanizadora → V-101

La torre de fraccionamiento mide 12,87 metros y está compuesta por dos partes principales, la principal, el cuerpo, de 10,97 metros de longitud y dividido en dos pisos por dos plataformas y 3 escaleras verticales que las unen entre sí y con el pavimento. La altura de la primera plataforma se ha reducido un poco para que un operario pueda llegar sin problemas a válvula de la línea 1 que atraviesa esta plataforma.

Y una segunda parte, donde descansa el cuerpo de la torre de fraccionamiento de 1,54 metros de altura y con una tobera de salida para el material más pesado y una entrada para la inspección.

La torre está compuesta por 13 bandejas (12 huecos) con una separación de 609,6mm entre ellas, y un espacio total de 7315,2mm dedicado a las etapas, que comienzan en la cota 4000.

El resto de los planos de fabricación se pueden encontrar en el apartado “6.1. Depropanizadora V-101” del anejo “Datos de partida”, mientras que el plano a escala de la torre de fraccionamiento digitalizada, o podemos encontrar en el plano “Planos_EQUI_01” del anejo “Planos”.

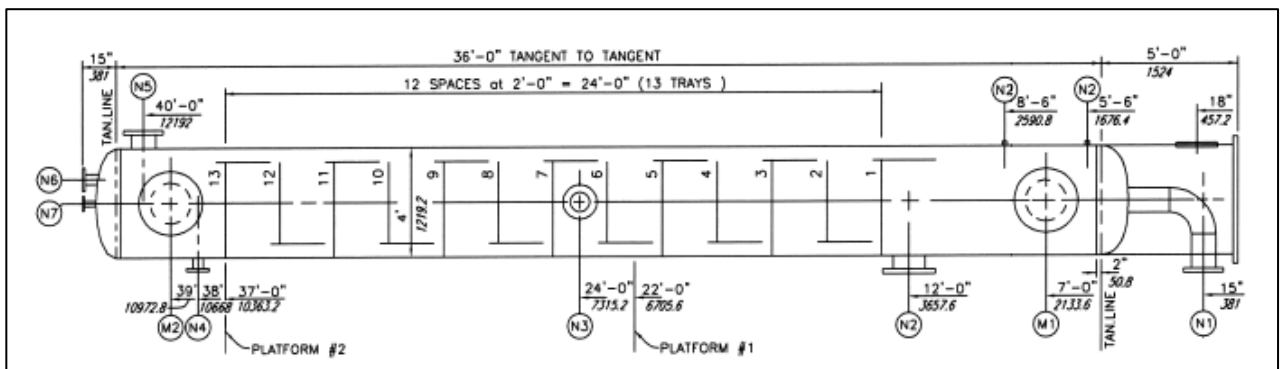


Imagen 1: parte de un plano de fabricación del de la columna depropanizadora 01-V-101

La información de cada tobera se encuentra en la siguiente tabla:

TOBERAS						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
N1	FONDO	1	10"	254	300#	RF
N2	VUELTA HERVIDO	1	12"	304,8	300#	RF
N3	ENTRADA ALIMENTACION	1	8"	203,2	300#	RF
N4	REFLUJO	1	4"	101,6	300#	RF
N5	SALIDA VAPOR	1	10"	254	300#	RF
N6	P.S.V.	1	4"	101,6	300#	RF
N7	VENTEO	1	2"	50,8	300#	RF
M1 & M2	ENTRADA DE HOMBRE	2	18"	457,2	300#	RF

Tabla 1: información de las toberas de la torre de fraccionamiento depropanizadora

1.2. Depósito acumulador → V-102

El depósito acumulador V-102 tiene un cuerpo cilíndrico de 1219,2 mm de diámetro y una longitud de 4,572mm. Luego se cierra en los extremos con dos semielipses del mismo diámetro y 400mm de profundidad, otorgándole un volumen total aproximado de 6m³, aunque rara vez superará la mitad de su capacidad. Para medir y controlar el nivel está instalado el Bridle #2 entre las toberas N6 y N7.

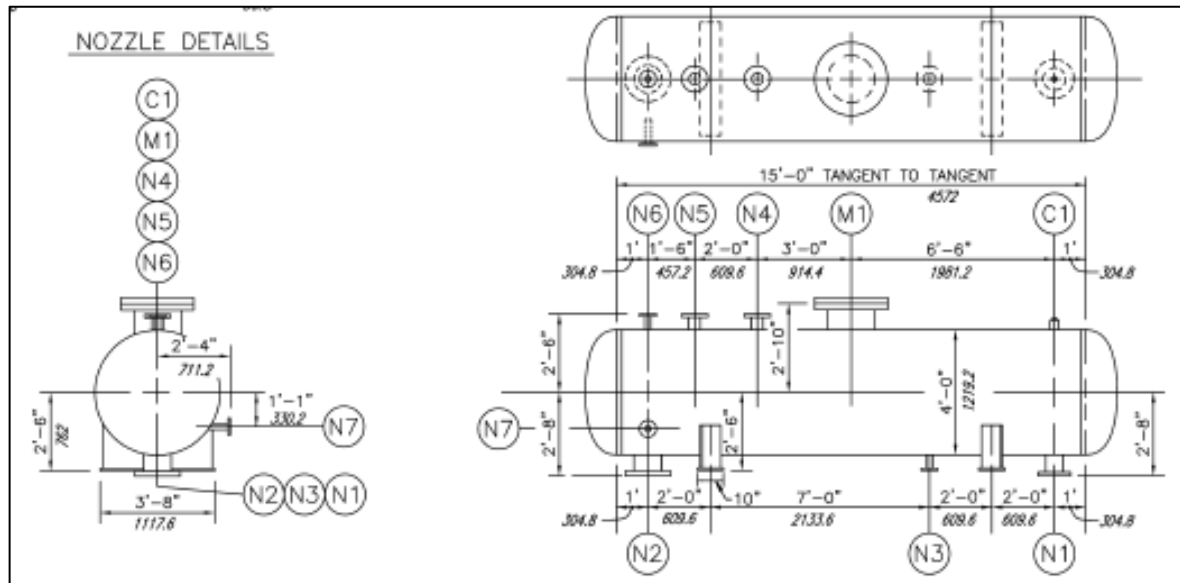


Imagen 2: parte del plano de fabricación del depósito 01-V-102

Los planos de fabricación original se pueden encontrar en el anejo “Datos de partida” en el apartado “6.2. Acumulador de Reflujo V-102”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos”. La digitalización se puede visualizar en Navisworks y se encuentra en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

La información con todas las toberas se encuentra en la siguiente tabla:

TOBERAS DEPOSITO ACUMULADOR						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
N1	ENTRADA DE LIQUIDO	1	8"	203,2	300#	RF
N2	SALIDA DE LIQUIDO	1	10"	254	300#	RF
N3	DRENAJE	1	2"	50,8	300#	RF
N4	SALIDA DE VAPOR	1	4"	101,6	300#	RF
N5	ALIVIO	1	4"	101,6	300#	RF
N6	INDICADOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
N7	INDICADOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
C1	VENTEO	1	1"	24,5	300#	CPLG
M1	ENTRADA DE HOMBRE	1	18"	457,2	300#	RF

Tabla 2: información de las toberas del depósito acumulador V-102

1.3. Intercambiador hervidor → E-101

El intercambiador de calor hervidor, es un equipo diseñado a medida dependiendo de su función.

Para nuestro proyecto se necesita un intercambiador rehervidor de caldera (tipo AKT) de 7,9248 metros de longitud, dividido en dos partes principales, una cabeza de haz de tubos desmontable, con un diámetro exterior de 609,6mm. Y una coraza de caldera hervidor en dos alturas de 7112mm de longitud y un diámetro inicial de 609,6mm con el eje a una altura de 508mm; para aumentar de forma excéntrica aumentando durante 736,6mm para situar nuevo eje en una cota de 609,6mm y llegar a un diámetro exterior de 914,4mm.

El líquido encargado de calentar el intercambiador entrara a la caldera a una temperatura aproximada de 675°F (358°C) y sale a una temperatura de 550°F (288°C). Estos valores son los que mantendrán la temperatura dentro del intercambiador.

Ahora la torre de fraccionamiento introduce por la tobera C el producto a una temperatura de 190°F (88°C) y saldrá en forma de vapor por la tobera D a una temperatura de 205°F (97°C) directo a la zona flash de la torre de fraccionamiento. El líquido que haya precipitado a 205°F (97°C) saldrá por la tobera E al final de la caldera.

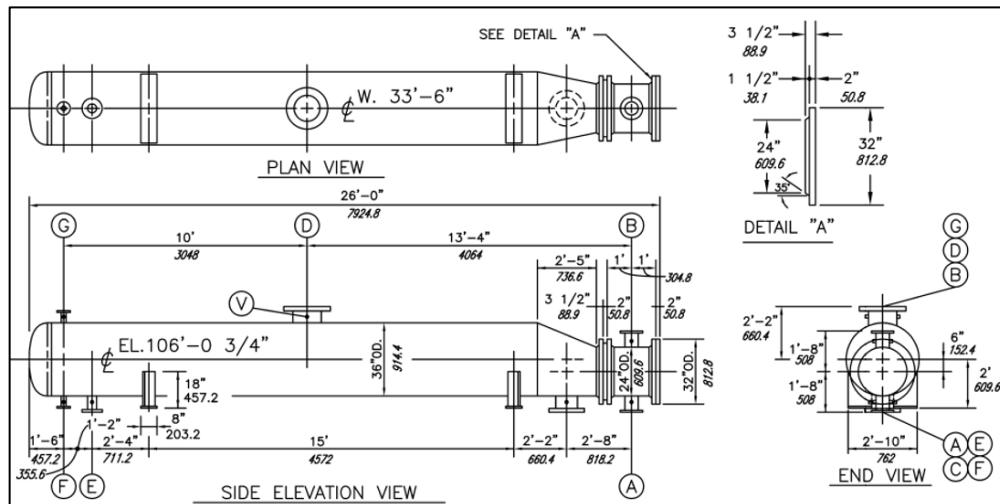


Imagen 3: parte del plano de fabricación del intercambiador hervidor E-101

El valor de las toberas y su función, lo encontramos en la siguiente tabla:

TOBERAS INTERCAMBIADOR HERVIDOR E-101						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Métrico		
A	SALIDA CALENTADOR	1	6"	152,4	150#	RF
B	ENTRADA CALENTADOR	1	6"	152,4	150#	RF
C	ENTRADA LIQUIDO	1	10"	254	300#	RF
D	SALIDA VAPOR	1	12"	304,8	300#	RF
E	SALIDA DEL PRODUCTO	1	4"	101,6	300#	RF
F	MEDIDOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
G	MEDIDOR DE NIVEL	1	2"	51,8	300#	RF
V	RESPIRADERO	8	1"	25,4	6000#	CPLG

Tabla 3: valores de las toberas del intercambiador hervidor E-101

Los planos de fabricación completos los podemos encontrar en el apartado "6.3. Reboiler E-101" del anejo "Datos de partida". Los planos del equipo, los podemos encontrar en plano "Plano_EQUI_02"

del anejo planos, mientras que la representación digital de la planta y el quipo en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

1.4. Intercambiador condensador → E-102

El intercambiador de calor condensador, es el encargado de enfriar el producto a la salida de la torre de fraccionamiento para almacenarlo en el depósito a la temperatura deseada.

Nuestro intercambiador debe ser un intercambiador de cabezal y tubos integrados (tipo CFU) de 7,3152 metros de longitud, divididos en dos partes, con un eje horizontal a 508mm de altura de la zona más baja del equipo. La primera es la cabeza con una longitud de 609,6 mm y los tubos soldados los tubos que pertenecen a la cabeza, pero se introducen en el cuerpo del intercambiador de 6705 mm de longitud.

Las condiciones de trabajo las conocemos parcialmente, pues sabemos que el producto sale de la torre da unos 125°F (52°C) y se mantiene en el depósito (según el diagrama de flujo de la memoria descriptiva imagen 5) a una temperatura de 118°F (48°C). Suponemos que esta temperatura será algo inferior y coincidirá con la temperatura ambiente.

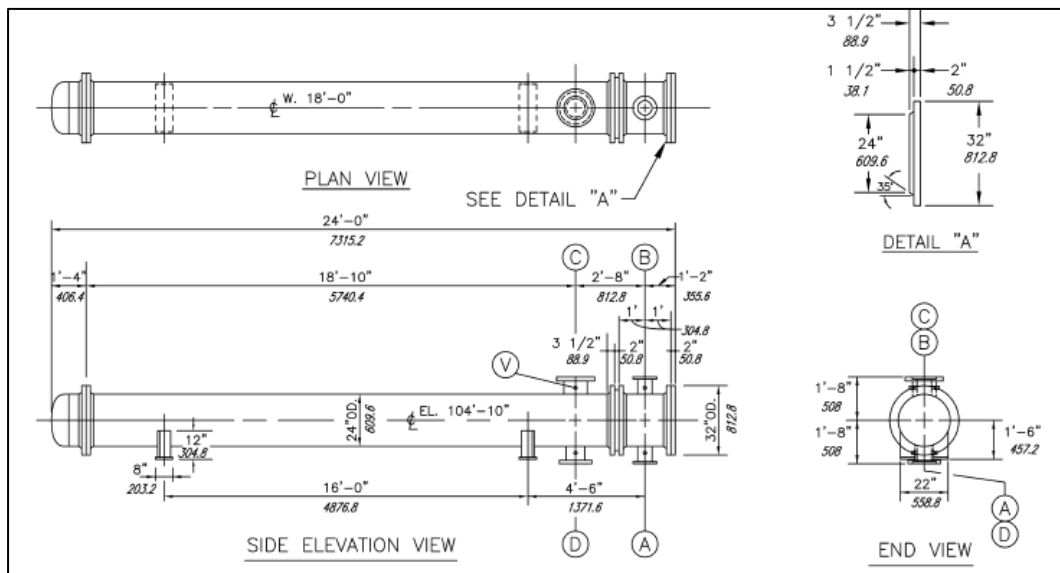


Imagen 4: parte del plano de fabricación del intercambiador de calor condensador E-102

TOBERAS INTERCAMBIADOR CONDENSADOR E-102							
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara	
			Imperial	Metrico			
A	ENTRADA REFRIGERANTE	1	6"	152,4	150#	RF	
B	SALIDA REFRIGERANTE	1	6"	152,4	150#	RF	
C	ENTRADA VAPOR	1	10"	254	300#	RF	
D	SALIDA LIQUIDO	1	8"	203,2	300#	RF	
V	RESPIRADERO	8	1"	25,4	6000#	CPLG	

Tabla 4: valores de las toberas del intercambiador condensador E-102

Los planos de fabricación completos los podemos encontrar en el apartado “6.4. Reboiler E-102” del anejo “Datos de partida”. Los planos obtenidos de la digitalización del equipo, los podemos encontrar en el plano “Plano_EQUI_03 mientras que la representación digital de la planta y el quipo en el apartado “8. Visualización del modelo” del anejo “Digitalización en AVEVA E3D”.

1.5. Bombas P-101A y P-101B

Las bombas P-101A y P-101B son dos bombas centrifugas horizontales colocadas en paralelo, capaz de trabajar de forma independiente o en conjunto.

Están formadas por un motor eléctrico que se une mediante un eje a la turbina con dos toberas, una de succión y otra de descarga. La tobera de succión se sitúa en el centro de la bomba a una altura de 457,2mm respecto de su placa de anclaje en dirección horizontal y con un diámetro de 8" (se coloca un reductor excéntrico antes de la entrada). Y una tobera de descarga de 6" de diámetro situada de forma vertical en la parte superior a una distancia del eje de 254mm y una altura de 914,4mm respecto su placa de anclaje.

Para que las bombas sean funcionales y seguras, su fabricación e instalación tienen que cumplir con la normativa API-610. Las bombas encargadas a fábricas ya vienen con su validación API-610 y únicamente hay que estudiar la instalación. En el apartado "14. Verificación de bombas P-101A & P-101B" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" se han simulado en primer lugar las tuberías que conectan con las bombas (líneas 6-C30-10" y 7-C30-6") y luego se han transmitido estos valores a las toberas de las bombas para comprobar que cumplen con la normativa API-610. Tras varias simulaciones, se decidió que para que las bombas cumplieren con la norma, era necesario la instalación de un soporte en la línea 6-C30-10" que descargase la tobera A de succión. Con esta modificación, las bombas cumplen perfectamente. El análisis completo de las bombas y su modificación se demuestra y comenta en el apartado ___ de este mismo documento.

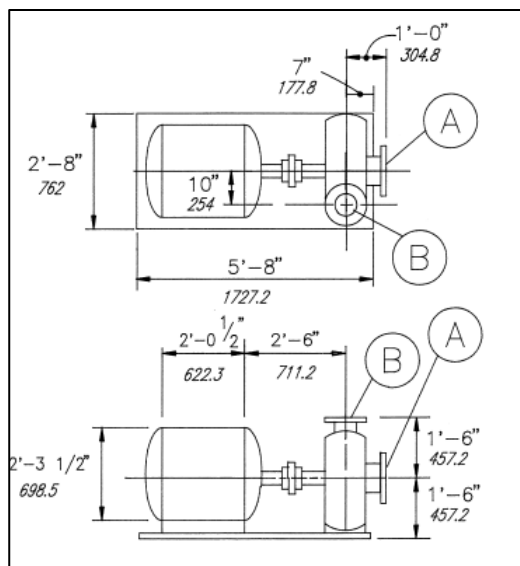


Imagen 5: parte del plano de fabricación de las bombas P-101A y P-101B

Las toberas que forman parte de las bombas se encuentran en la siguiente tabla:

OBERAS BOMBAS P-101A Y P-101B						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Métrico		
A	SUCCIÓN	1	8"	203,2	300#	RF
B	DESCARGA	1	6"	152,4	300#	RF

Tabla 5: valores para las toberas de las bombas

Los planos de fabricación completos se pueden encontrar apartado "6.5. Bombas P-101A & P-101B" del anejo "Datos de partida". El plano perteneciente a la digitalización es el plano "Plano_EQUI_05" del anejo "Planos" y la visita virtual en el apartado "8. Visualización del modelo" del anejo "Digitalización en AVEVA E3D"

2. Tuberías

En este apartado de tuberías, se va a incluir la lista de materiales que compone cada línea junto con sus propiedades mecánicas y de mecanizado, su grosor (Schedule) y clase, también se acompañaran con una pequeña imagen. Todas las tuberías se podan encontrar con su plano de fabricación y su digitalización con sus valores geométricos exactos.


Las listas de materiales de cada línea se han obtenido directamente del programa de diseño AVEVA Everything 3D. En estas tablas aparece la abreviatura del tipo de elemento en inglés (en la siguiente tabla se encuentran todas las traducciones y significado).


Abreviatura	Significado	Traducción
CAP	Cap	Tapón fin de línea
ELBO	Elbow	Codo
FLAN	Flange	Brida
GASK	Gasket	Junta
TUBI	Tube	Tubería
VALV	Valve	Válvula
REDU	Reducer	Reductor
TEE	Tee	Bifurcación en Te

Tabla 6: significado de los elementos que componen las listas de materiales de las tuberías

En estas tablas también aparece la especificación del elemento con la nomenclatura necesaria para su pedido a una empresa del sector. Esta nomenclatura se explicará también a continuación:

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
FLAN	A300/WNRF:200	3

Tipo de elemento: 
Como se muestra en la tabla anterior, FLAN corresponde a un FLANGE que es una brida

 Número de elementos iguales en la línea

Especificación del elemento:

A300 → Su Clase (150# libras o 300# libras)

WNRF → abreviaturas del tipo, en este caso, es una Brida Welding Neck(soldadura a ras) con Raised Face (cara levantada).

200 → diámetro en unidades métricas (en unidades imperiales está en el nombre de la línea)

Todos los elementos recogidos en las listas de materiales luego serán incluidos en el anejo “Datos físicos y geométricos”. Es decir, se incluirá una imagen de catálogo de cada elemento utilizado en el modelo, donde quede mucho más claro la especificación.

Todas las tuberías del proyecto se han fabricado con el mismo material, este material es el ASTM A53 Grado B y aunque está incluida la tabla con sus propiedades en el anejo de simulación de tuberías por CaePipe (esa tabla es propia del programa), se adjunta la tabla del fabricante “OCTAL”:


ASTM A53 Grade A & B Steel Pipe Chemical Composition and Mechanical Properties									
 www.octalsteel.com									
Chemical Composition									
Grade	Max, %								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium
Type S (seamless pipe)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type E (electric-resistance-welded)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type F (furnace-welded pipe)									
Grade A	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Mechanical Properties									
Strength		Grade A			Grade B				
Tensile strength, min, psi [MPa]		48 000 [330]			60 000 [415]				
Yield strength, min, psi [MPa]		30 000 [205]			35 000 [240]				
Elongation in 2 in. or 50 mm		$e = 625\,000 [1940] A^{0.2} / U^{0.9}$							

Imagen 6: valores del material ASTM A53 grado B con el que se han fabricado las tuberías

2.1. Línea 1 → 1-C30-8”

La línea 1 se monta en 8 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule (grosor) STD.

Esta línea alimenta la torre de fraccionamiento a una altura de unos 7,6 metros.

Se ha calculado y verificado en el apartado “4. Simulación explicada de la línea 1-C30-8” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe” y se ha simulado con unas condiciones de temperatura 210°F (98,9°C) y presión en el interior de la tubería de 255 PSIG (17,58 bar). Los resultados de la simulación se pueden encontrar en el apartado “4.2. Resultados de la línea según CaePipe” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:200	1
ELBO	A300/EL90:200	4
FLAN	A300/WNRF:200	3
GASK	A300/GRF:200	3
TUBI	A300/P-STD:200	5
VALV	A300/GL-143:200	1

Tabla 7: lista de materiales de la línea 1-C30-8”

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se muestra a continuación y también se puede encontrar en el anejo “Datos de partida” apartado “7.1. Línea 1”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_01”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”

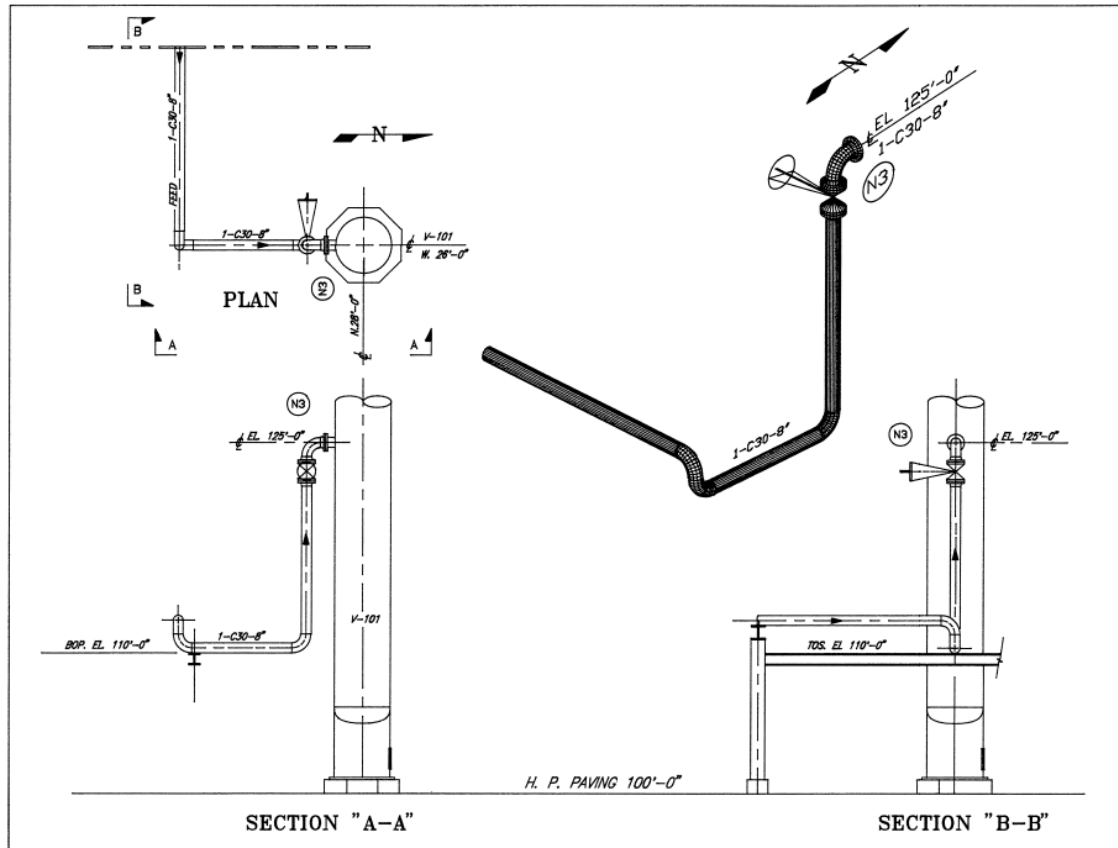


Imagen 7: plano de fabricación de la línea 1-C30-8"

2.2. Línea 2 → 02-C30-10"

La línea 2 se monta en 10 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule STD.

Esta línea conecta la parte baja de la torre de fraccionamiento en dirección a la cabecera del intercambiador de calor hervidor E-101. Esta línea trabaja a una temperatura de 230°F (101°C).

Debido a su sencillez no se ha simulado.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:250	3
FLAN	A300/WNRF:200	2
FLAN	A300/WNRF:250	1
GASK	A300/GRF:200	2
GASK	A300/GRF:250	1
REDU	A300/ER:250_200	1
TUBI	A300/P-STD:250	2

Tabla 8: lista de materiales de la línea 2-C30-10"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.2. Líneas 2 y 3". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_02". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

Como se puede apreciar, en la siguiente imagen se encuentran la línea 2 y la línea 3.

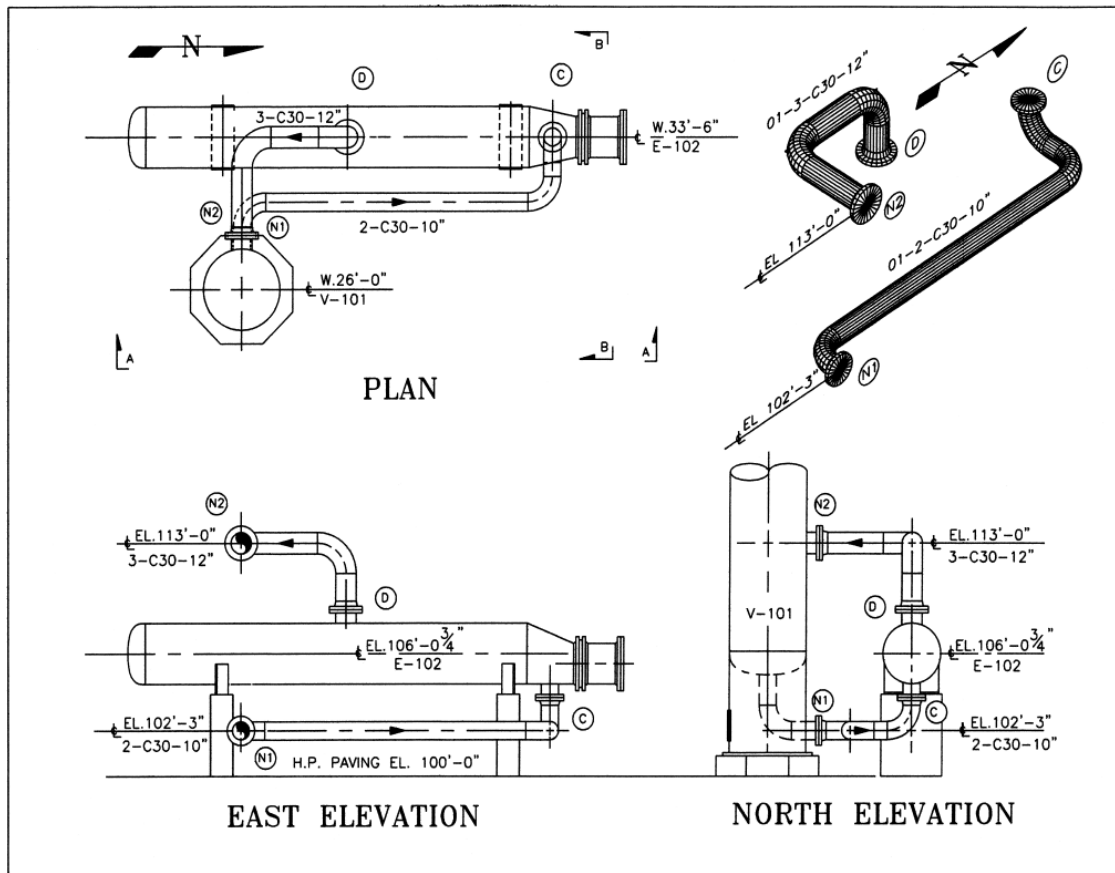


Imagen 8: plano de fabricación de las líneas 2-C30-10" y 3-C30-12"

2.3. Línea 3 → 03-C30-12"

La línea 3 se monta en 12 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule STD.

Esta línea conecta el final del intercambiador de calor E-101 con la torre de fraccionamiento. Consiguiendo devolver el producto a una temperatura de 245°F (118,3°C) de nuevo a la torre.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:300	2
FLAN	A300/WNRF:300	2
GASK	A300/GRF:300	2
TUBI	A300/P-STD:300	3

Tabla 9: lista de materiales de la línea 3-C30-12"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se encuentra en la imagen anterior y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.2. Líneas 2 y 3". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" en el plano "Plano_TUBE_03". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

2.4. Línea 4 → 4-C30-10"

La línea 4 se monta en 10 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule STD.

Esta línea conecta la parte más alta de la torre de fraccionamiento con la cabeza del intercambiador de calor condensador E-102. Esta línea apoya en el soporte largo Ñ.

Debido a su complejidad y delicadeza de la línea, se ha simulado en CaePipe, en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" apartado "5. Simulación línea 4-C30-10" y se pueden apreciar los resultados al final de dicho apartado.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:250	4
FLAN	A300/WNRF:250	2
GASK	A300/GRF:250	2
TUBI	A300/P-STD:250	4

Tabla 10: lista de materiales de la línea 4-C30-10"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.3. Línea 4". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_04". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

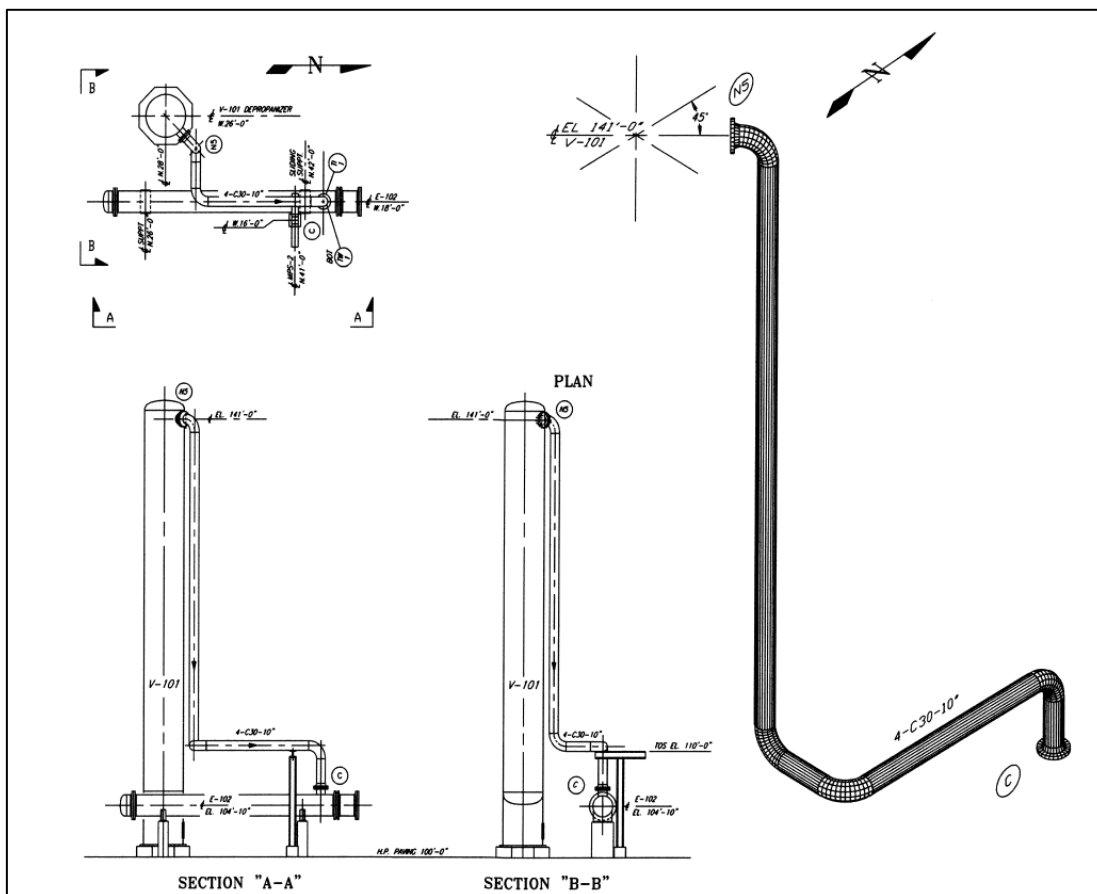


Imagen 9: plano de fabricación de la línea 4-C30-10"

2.5. Línea 5 → 5-C30-8"

La línea 5 se monta en 8 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule STD.

Se encarga de llevar el producto terminado del intercambiador condensador E-102 con el depósito acumulador V-102.

En su camino, para no sobrecargar las toberas de los equipos donde se conecta, la tubería reposa sobre el soporte largo Ñ. para ver el comportamiento que tiene sobre el soporte y que las toberas donde conecta cumplen con la normativa ASME y son seguras, se ha realizado un análisis de todo ello en el Anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" apartado "6. Simulación línea 5-C30-8" con sus resultados al final de dicho apartado.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:200	6
FLAN	A300/WNRF:200	2
GASK	A300/GRF:200	2
TUBI	A300/P-STD:200	6

Tabla 11: lista de materiales de la línea 5-C30-8"

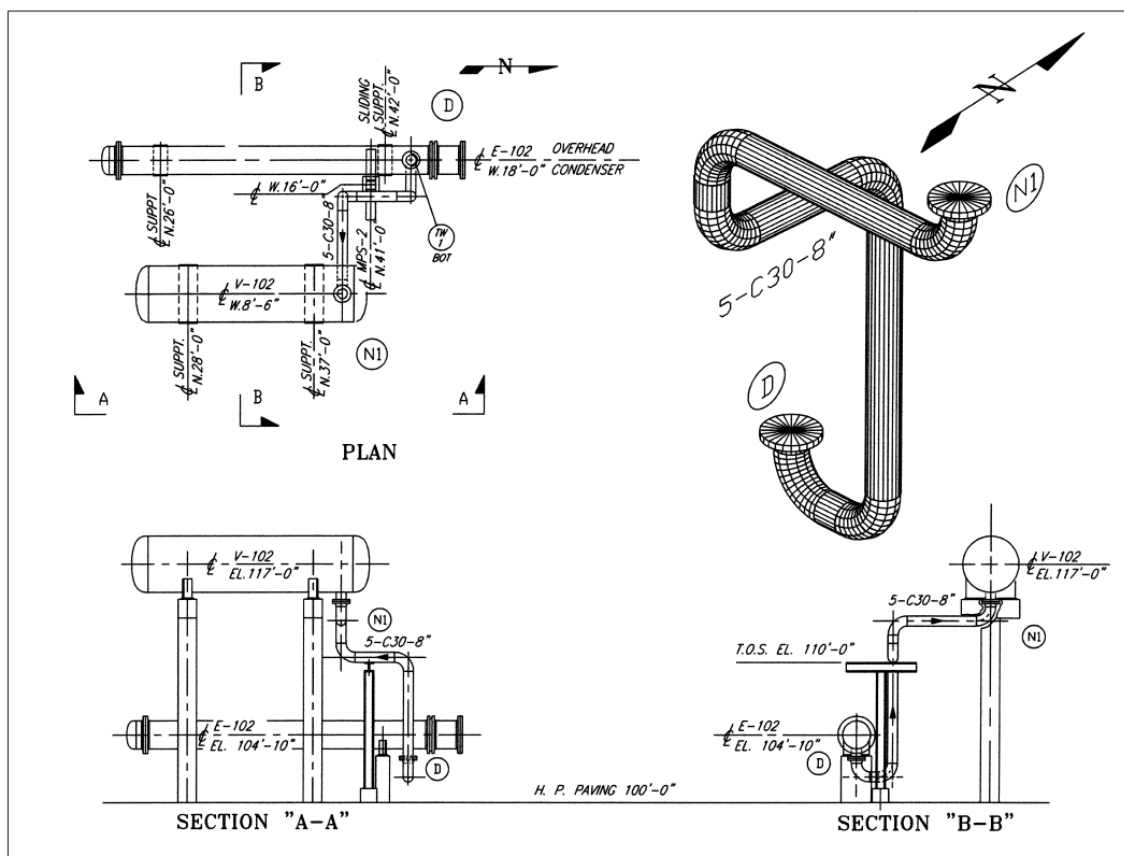


Imagen 10: plano de fabricación de la línea 5-C30-8"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar en la imagen anterior y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.4. Línea 5". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_05 ". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

2.6. Línea 6 → 6-C30-10"

La línea 6, se monta con un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300. Es la encargada de conectar el depósito donde espera el producto, con las bombas que lo bombearan hasta su siguiente parada.

Esta línea se ha calculado para obtener los valores que transmite a la tobera de succión de las bombas P-101 A & B y tras el estudio completo que se ha realizado en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe"; apartado "13. Simulación línea 6-C30-10" así se demostró, y fue necesario incluir un soporte en justo antes de la entrada de las bombas como se comenta en el apartado "14. Verificación de bombas P-101A & P-101B" del anejo donde se simula la línea.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:250	5
FLAN	A300/WNRF:200	2
FLAN	A300/WNRF:250	5
GASK	A300/GRF:200	2
GASK	A300/GRF:250	5
REDU	A300/CR:250_200	2
TEE	A300/ST:250_250	1
TUBI	A300/P-STD:200	2
TUBI	A300/P-STD:250	8
VALV	A300/GL-134:250	2

Tabla 12: lista de materiales de la línea 6-C30-10"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.5. Línea 6". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_06". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

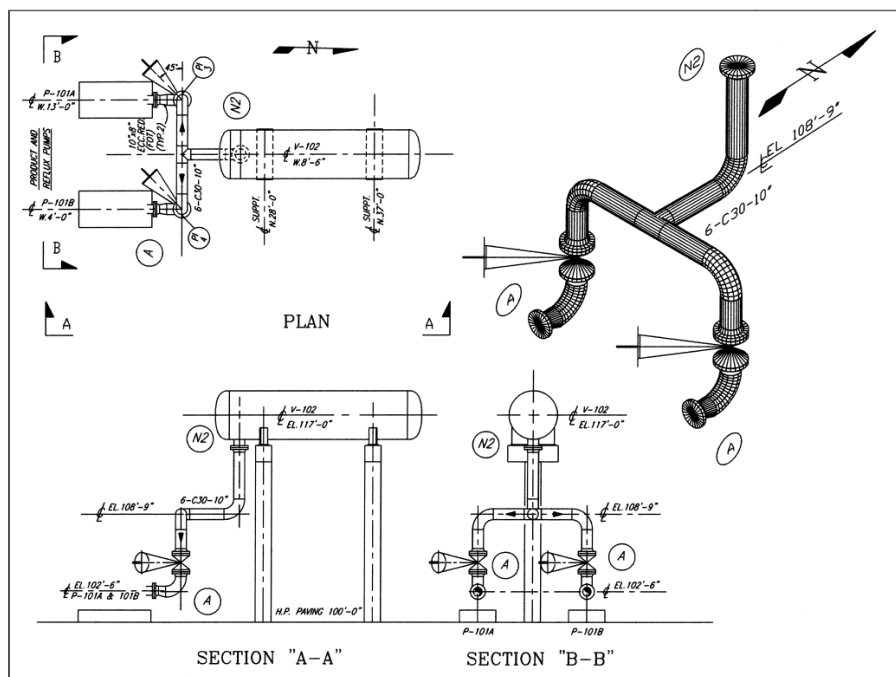


Imagen 11: plano de fabricación de la línea 6-C30-10"



2.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"

La línea 7 está compuesta por dos Branch (dos partes, como sublíneas) diferentes que se unen encima del rack. El primero de 4" de diámetro que sale de la parte alta de la torre de fraccionamiento para bajar hasta el piso donde tiene una estación de válvulas de control sujeta por un trunnion, después asciende para conectarse mediante un reductor colocado al revés al Branch de 6" encima del Rack. Este Branch nace en las toberas de descarga de las bombas P-101 A & B controlándolas con dos válvulas de globo situadas un poco por encima de las bombas. Luego sube para conectarse con el otro Branch y abandonar el rack por el este.

- **7-C30-4"**

Este ramal de la línea 7, tiene un diámetro de 4 pulgadas, Schedule STD y clase #300.

Debido a su complejidad y delicadeza por su larga bajada apoyada en un trunnion, se ha simulado en CaePipe para verificar que cumpla con la normativa ASME B31.3. este análisis lo podemos encontrar en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe", apartado "12.1. simulación línea 7-C30-4"

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:100	6
FLAN	A300/WNRF:100	9
GASK	A300/GRF:100	9
REDU	A300/CR:150_100	1
TEE	A300/ST:100_100	2
TUBI	A300/P-STD:100	13
VALV	A300/GL-134:100	3
VALV	A300/CK-1518:100	1

Tabla 13: lista de materiales de la línea 7-C30-4"

- **7-C30-6"**

Este ramal de la línea 7, tiene un diámetro de 6 pulgadas, Schedule STD y clase #300.

Debido a que esta línea está conectada a las toberas de descarga de las bombas, es necesaria su simulación para verificar que la línea cumpla con la normativa ASME y que la instalación de las bombas cumpla con la normativa API-610.

El análisis de la línea lo podemos encontrar en el apartado "12.2. Simulación línea 7-C30-6" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Y el análisis de las bombas en el apartado "14. Verificación de bombas P-101 A y P-101 B" del mismo anejo.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:150	1
ELBO	A300/EL90:150	4
FLAN	A300/WNRF:150	5
GASK	A300/GRF:150	5
TEE	A300/ST:150_150	2
TUBI	A300/P-STD:150	9
VALV	A300/GL-134:150	2

Tabla 14: lista de materiales de la línea 7-C30-6"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.6. Línea 7". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_07". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

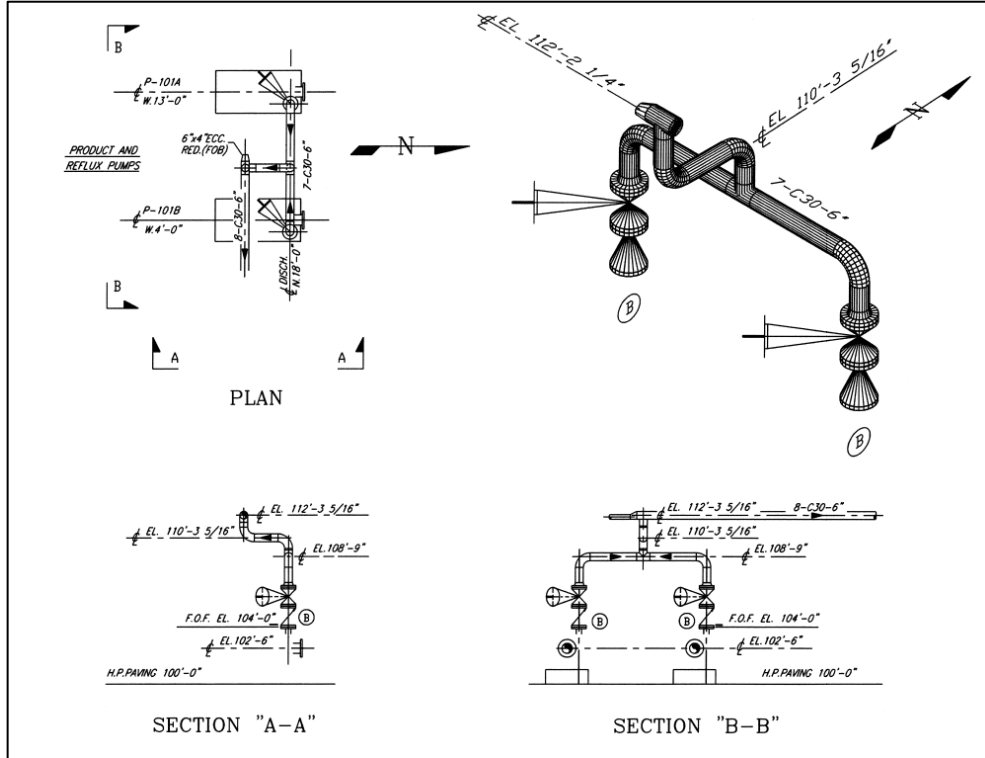


Imagen 12: línea 7-C30-6", parte 1ª de la línea. Parte de descarga bombas.

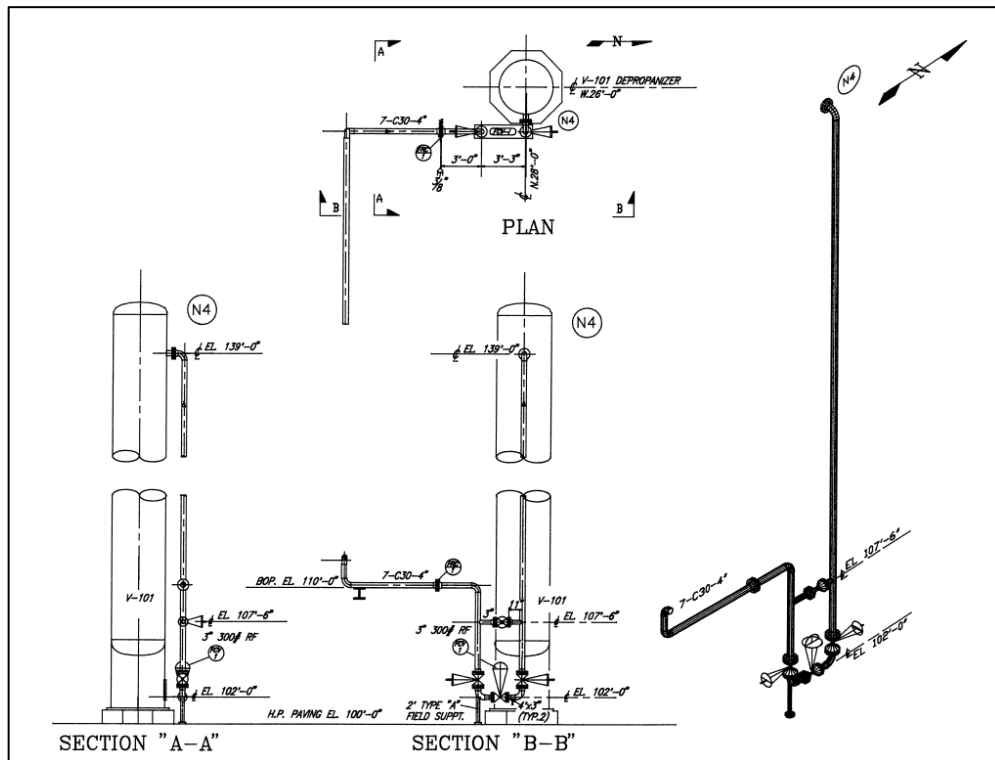


imagen 13: línea 7-C30-4" 2ª parte línea, parte descarga torre.

2.8. Línea 9 → 9-C30-4"

La línea 9, se monta con un diámetro de 4 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300. Es la encargada de retirar los restos de producto no útil sobrante del intercambiador de calor hervidor E-101 por el este del rack.

Debido a que la línea se sostiene mediante un trunnion y apoya en la viga transversal CD, se ha realizado su análisis en el apartado "7. Simulación línea 9-C30-4" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:100	1
ELBO	A300/EL90:100	9
FLAN	A300/WNRF:100	10
GASK	A300/GRF:100	10
TEE	A300/ST:100_100	2
TUBI	A300/P-STD:100	14
VALV	A300/GL-134:100	3
VALV	A300/CK-1518:100	1

Tabla 15: lista de materiales de la línea 9-C30-4"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.7. Línea 9". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_08". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

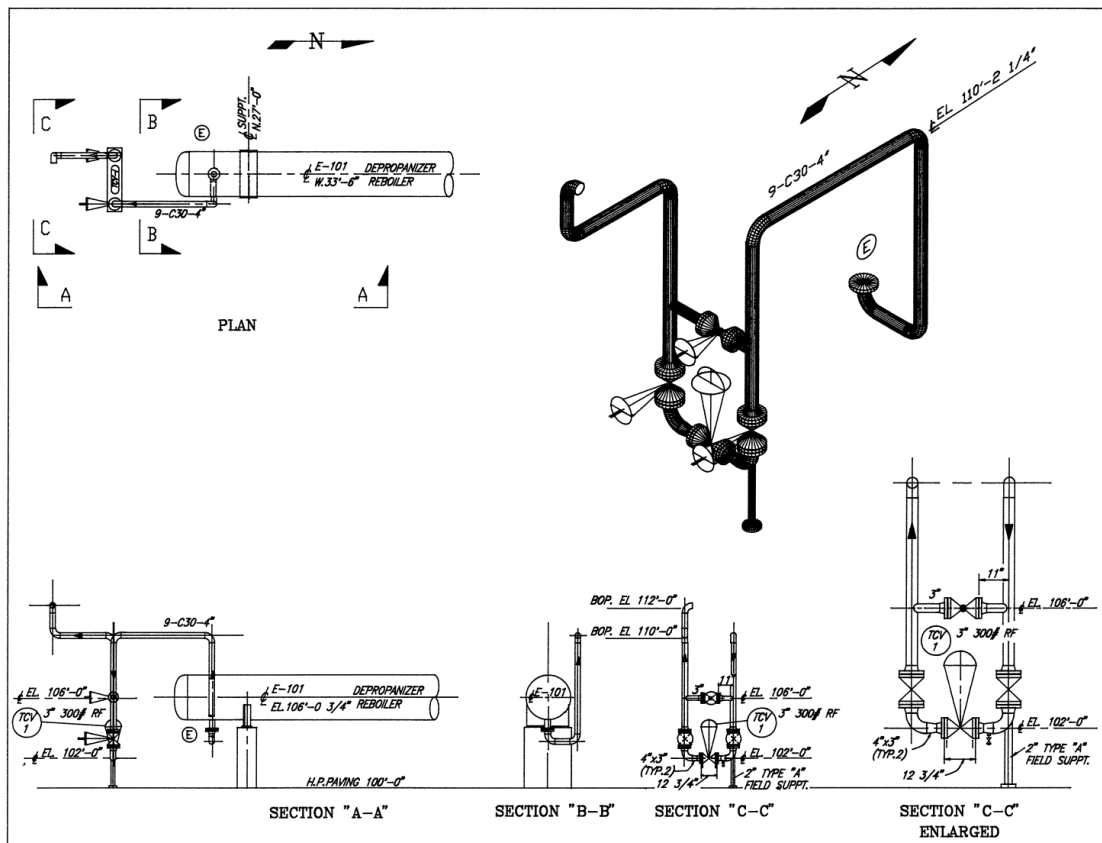


Imagen 14: plano de fabricación de la línea 9

2.9. Línea 10 → 10-A15-6"

La línea 10 tiene un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de retirar del intercambiador hervidor, el fluido que, tras calentar el producto, ha perdido su calor. Conecta por debajo del rack con la línea 19-A15-10".

Debido a que apoya sobre el soporte corto W y la viga transversal CD, se ha realizado su análisis en el apartado "8. Simulación línea 10-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	4
FLAN	A150/WNRF:150	1
GASK	A150/GRF:150	1
TUBI	A150/P-STD:150	5

Tabla 16: lista de materiales de la línea 10-A15-6"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.8. Línea 10". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_09". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

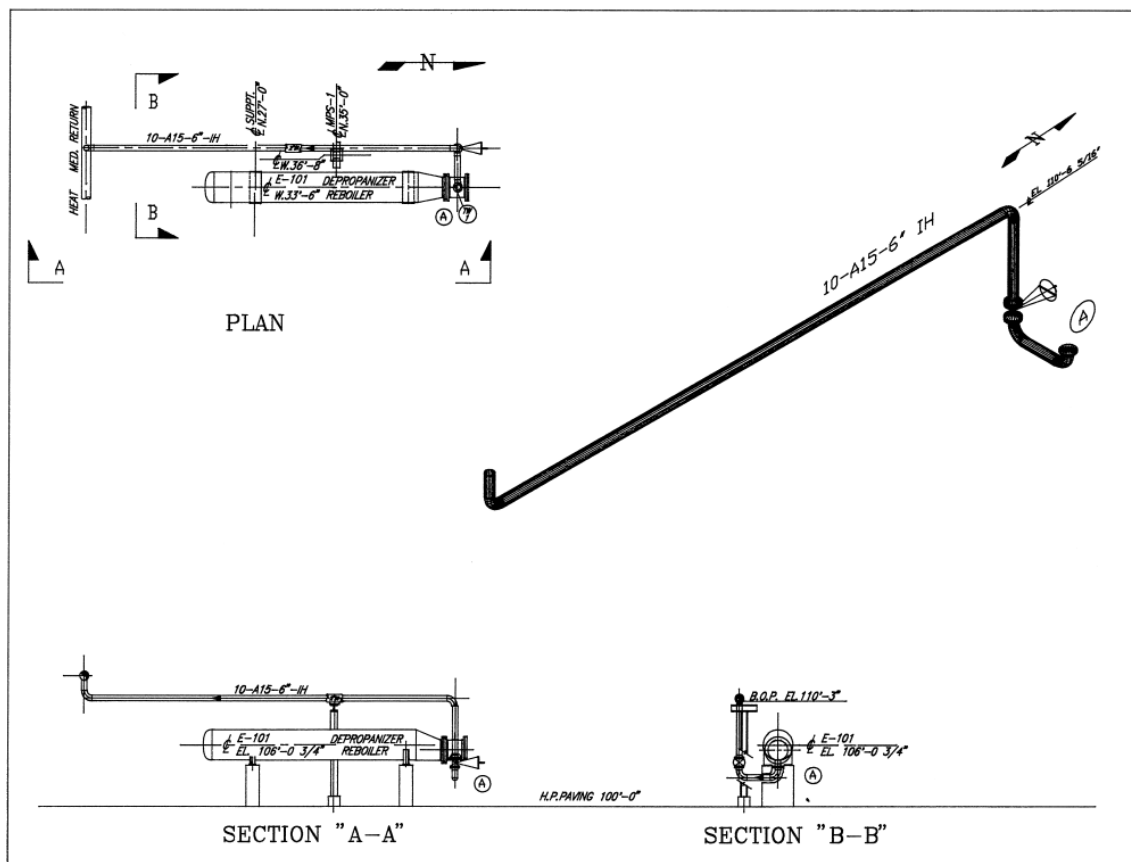


Imagen 15: plano de fabricación de la línea 10

2.10. Línea 11 → 11-A15-6"

La línea 11 se monta en un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule estándar y una clase de #150.

Esta línea es la encargada de alimentar el intercambiador hervidor E-101 de fluido caliente.

Debido a que esta línea tiene 3 apoyos; el primero nada más salir del intercambiador, sosteniendo la estación de válvulas de control hay un trunnion, después la línea discurre hacia el rack, apoyándose primero en el soporte corto W y acto seguido en el rack para conectarse por debajo a la línea 20-A15-10"; se ha simulado para ver el comportamiento en estos 3 puntos. La simulación la podemos encontrar en el apartado "9. Simulación línea 11-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	6
FLAN	A150/WNRF:150	9
GASK	A150/GRF:150	9
TEE	A150/ST:150_150	2
TUBI	A150/P-STD:150	11
VALV	A150/GL-143:150	4

Tabla 17: lista de materiales de la línea 11-A15-6"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.9. Línea 11". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_10". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

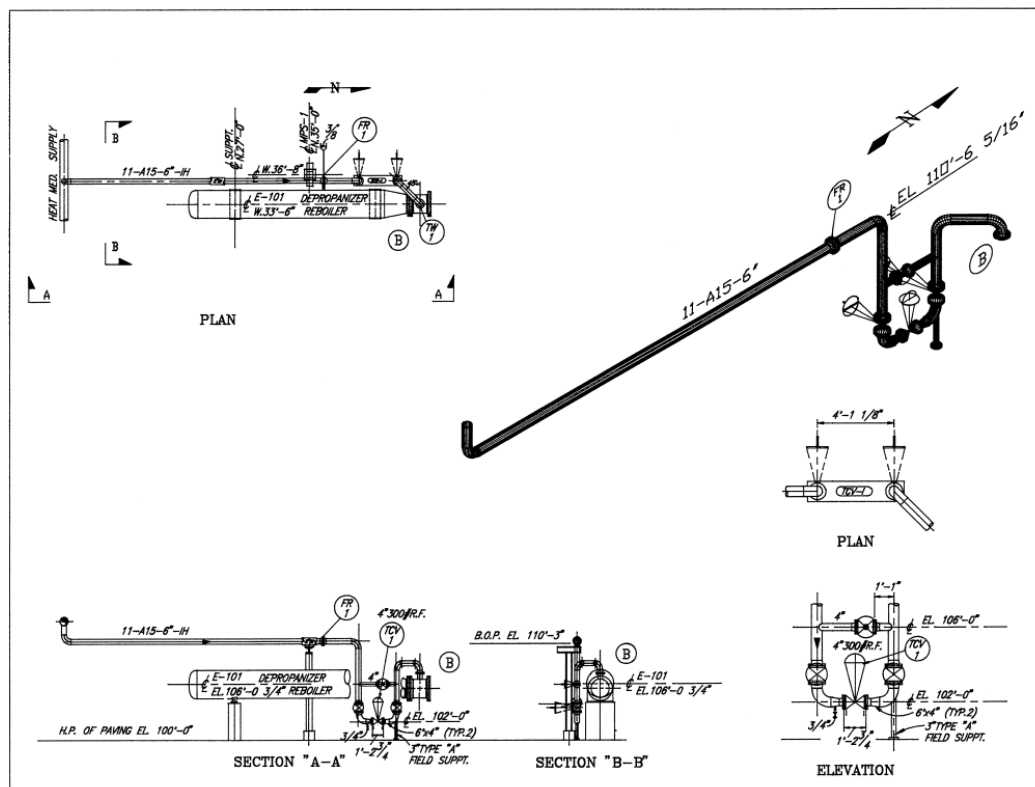


Imagen 16: plano de fabricación de la línea 11

2.11. Línea 12 → 12-C30-4"

La línea 12 monta un diámetro de 4 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Esta línea une la parte alta del depósito acumulador V-102 con la línea 17-A15-8" que atraviesa el Rack.

Es la única línea con trunnion que no se ha simulado, ya que, en comparación con las otras tres, su longitud y carga es mucho menor.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:100	1
ELBO	A300/EL90:100	8
FLAN	A300/WNRF:100	9
GASK	A300/GRF:100	9
TEE	A300/ST:100_100	2
TUBI	A300/P-STD:100	13
VALV	A300/GL-134:100	4

Tabla 18: lista de materiales de la línea 12-C30-4"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.10. Línea 12". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_11". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

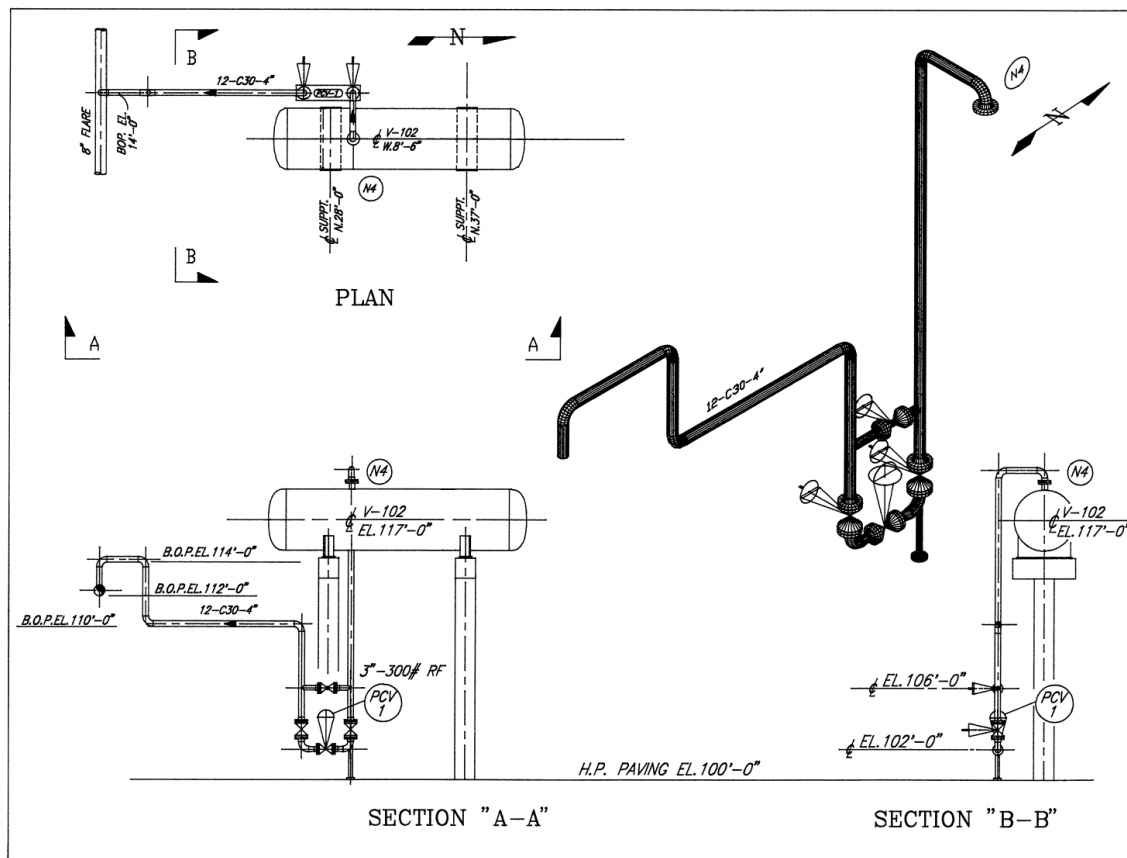


Imagen 17: plano de fabricación de la línea 12

2.12. Línea 13 → 13-A15-6"

La línea 13 está diseñada con un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Esta línea protege el depósito de presiones extremas creando una escapatoria a presión mediante una válvula de seguridad hasta la línea 18-A15-8". Por limitaciones en el programa de diseño, esta válvula de seguridad no se ha podido simular, y se ha sustituido por una válvula de globo y otra de bola BS4460.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:100	1
ELBO	A300/EL90:100	4
ELBO	A300/EL45:100	1
FLAN	A300/WNRF:100	4
GASK	A300/GRF:100	5
TUBI	A300/P-STD:100	5
VALV	A300/ BS4460100	1
VALV	A300/GL-134:100	1

Tabla 19: lista de materiales de la línea 13-A15-6"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.11. Línea 13". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_12". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

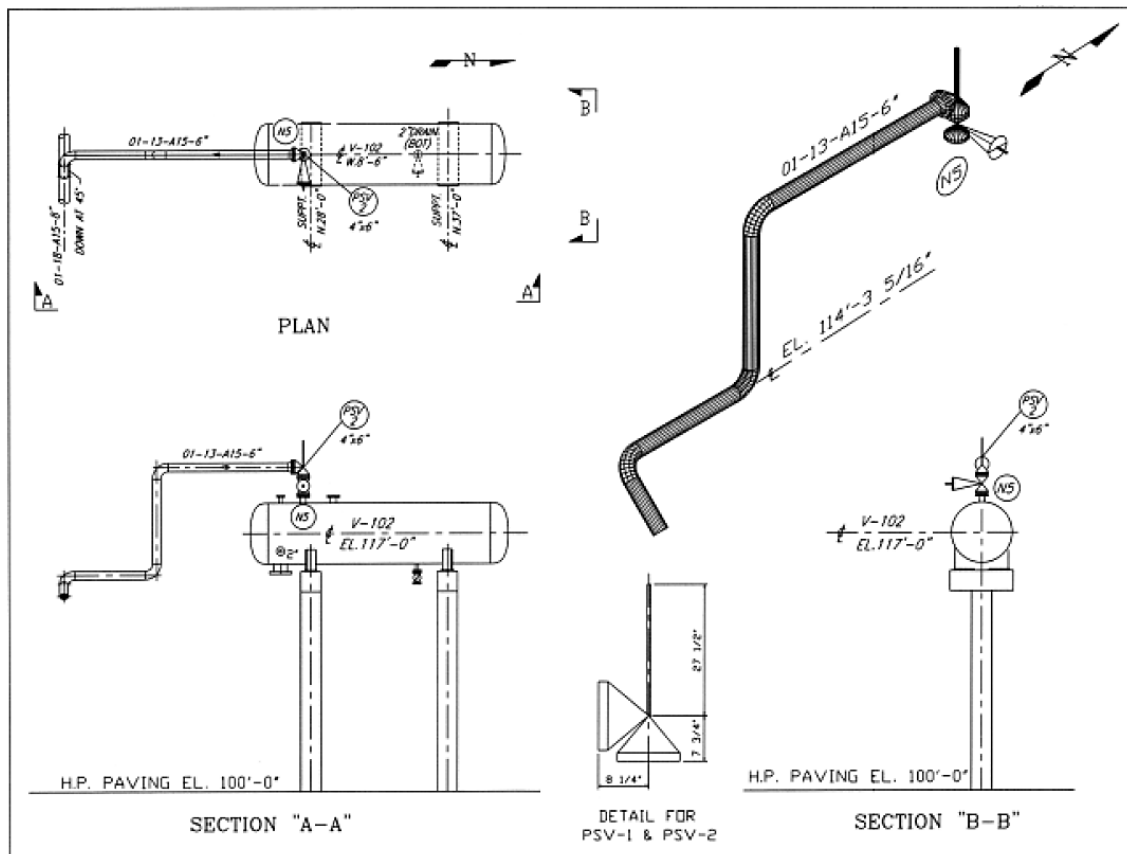


Imagen 18: plano de fabricación de la línea 13

2.13. Línea 14 → 14-A15-6”

La línea 14 tiene un diámetro nominal de 6 pulgadas un Schedule estándar y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de llevar el fluido de refrigeración del intercambiador de calor E-102 cuando este ya no puede seguir enfriando el producto en el condensador.

Como esta línea apoya en el soporte largo Ñ y en la viga transversal AB, se ha realizado una simulación en CaePipe para ver como transmite los esfuerzos a estos dos puntos que podemos encontrar en el anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe” apartado “10. Simulación línea 14-A15-6””

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	3
FLAN	A150/WNRF:150	2
GASK	A150/GRF:150	2
TUBI	A150/P-STD:150	4
VALV	A150/GL-143:150	1

Tabla 20: lista de materiales de la línea 14-A15-6”

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo “Datos de partida” apartado “7.12. Línea 14”. El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo “Planos” numero de plano “Plano_TUBE_13”. La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo “Digitalización en AVEVA E3D”, apartado “8. Visualización del modelo”.

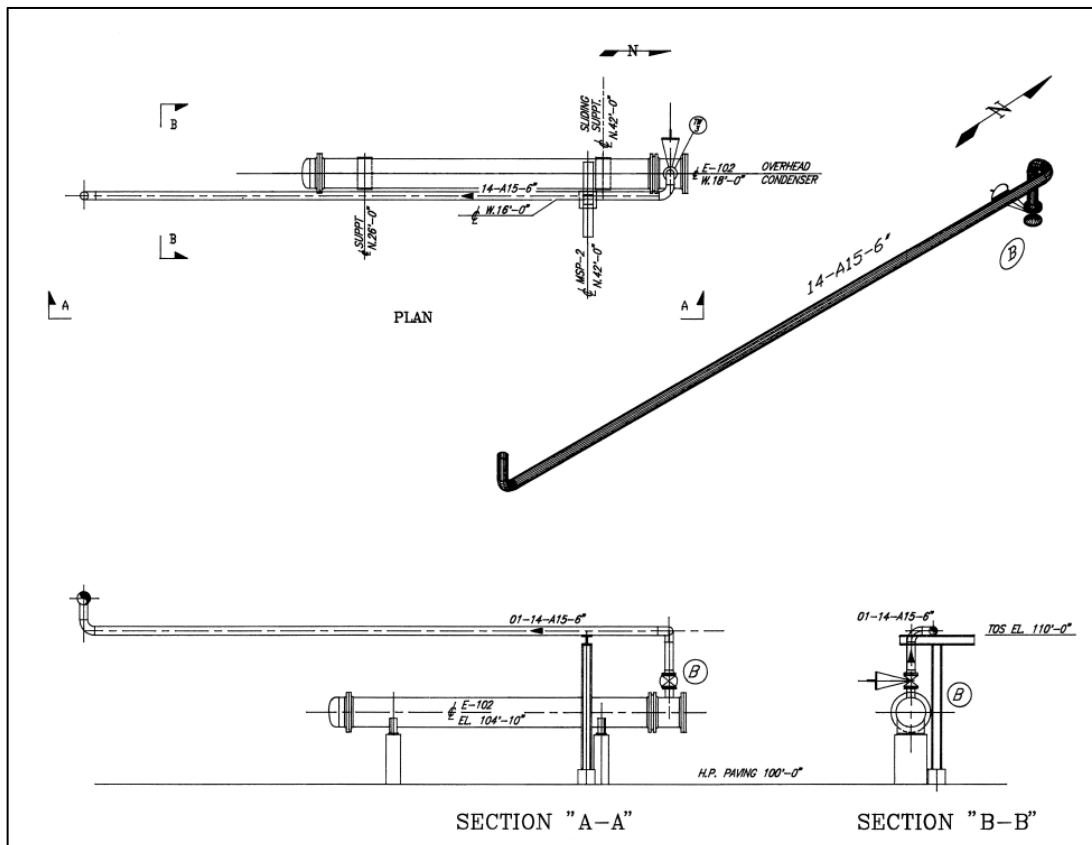


Imagen 19: plano de fabricación de la línea 14

2.14. Línea 15 → 15-A15-6"

La línea 15 tiene un diámetro de 6 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de alimentar el intercambiador E-102 de refrigerante para la condensación del producto antes de pasar al almacenamiento.

Debido a que esta línea apoya en el soporte largo Ñ y en la viga transversal AB, se ha realizado su simulación en CaePipe, para comprobar que cumpla con la normativa y ver que esfuerzos transmite a estos elementos. El análisis lo podemos encontrar en el apartado "11. Simulación línea 15-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	4
FLAN	A150/WNRF:150	2
GASK	A150/GRF:150	3
TUBI	A150/P-STD:150	5
VALV	A150/GL-143:150	1

Tabla 21: lista de materiales de la línea 15-A15-6"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.13. Línea 15". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_14". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

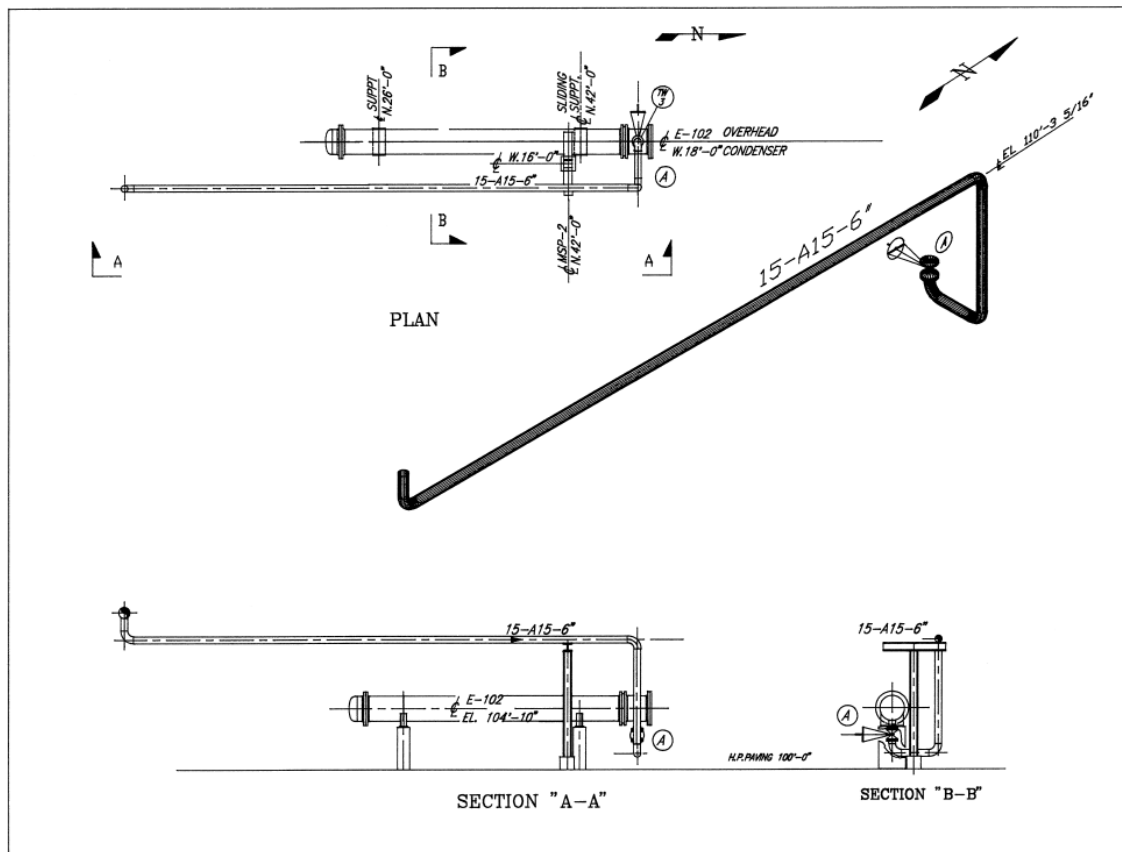


Imagen 20: plano de fabricación de la línea 15

2.15. Línea 16 → 16-C30-2"

La línea 16 es una línea de desagüe de 2 pulgadas de diámetro, Schedule STD y clase de #300 libras. Que sirve para eliminar los restos de producto dentro del depósito.

Debido a su sencillez esta línea no se ha simulado.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:50	1
FLAN	A300/WNRF:50	2
GASK	A300/GRF:50	3
TUBI	A300/P-STD:50	3
VALV	A300/GL-134:50	1

Tabla 22: lista de materiales de la línea 16-C30-2"

El plano de fabricación aportado por la empresa contratista, se puede encontrar a continuación y en el anejo "Datos de partida" apartado "7.14. Línea 16". El plano creado a partir de la digitalización se puede encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_TUBE_15". La digitalización donde se encuentra la línea completa con datos geométricos y físicos, la podemos encontrar en el Anejo "Digitalización en AVEVA E3D", apartado "8. Visualización del modelo".

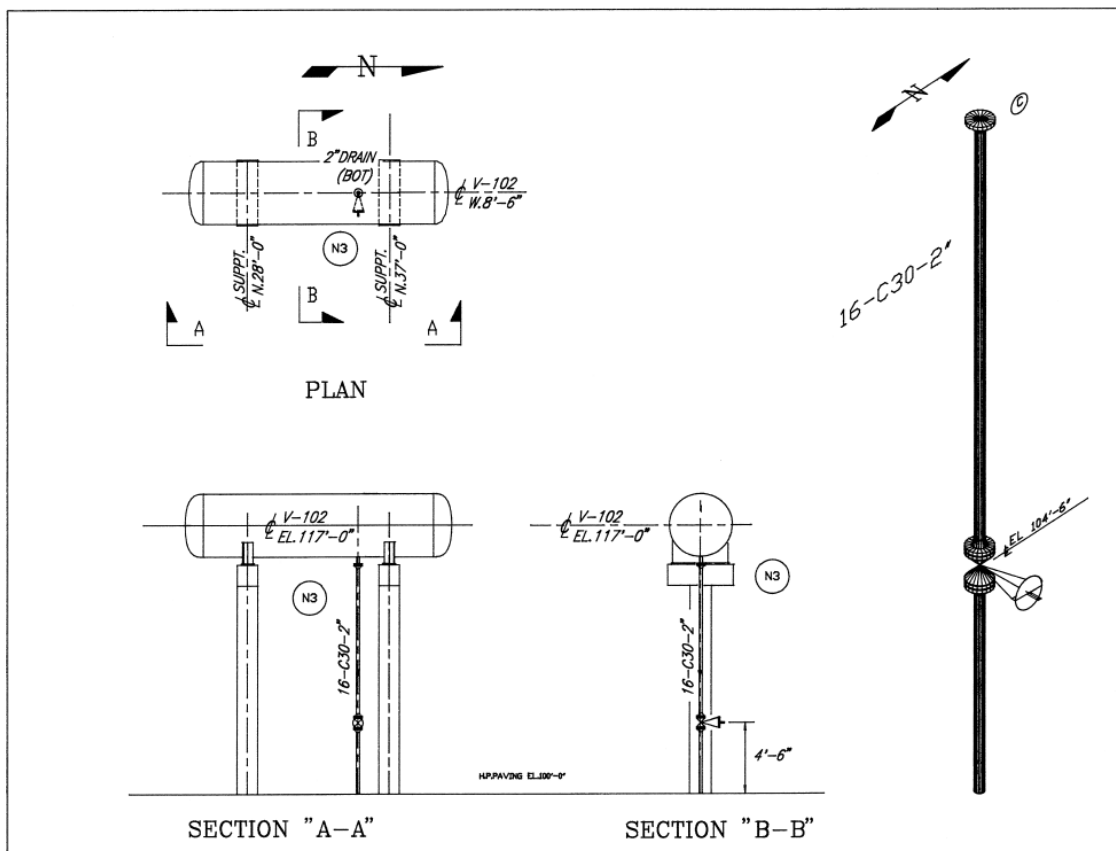


Imagen 21: plano de fabricación de la línea 16

2.16. Líneas sobre el rack

En este apartado nos centraremos en las líneas que atraviesan el rack de forma longitudinal y sirven de suministro para las líneas que si intervienen dentro de la unidad depropanizadora.

Estas líneas son 11 y las 6 primeras sirven de apoyo para otras líneas, mientras que las ultimas 5 únicamente transitan por la zona del rack perteneciente a la unidad.

De estas líneas solo se incluirá los valores de la tubería y en las 6 primeras líneas, se comentará el accesorio que enlaza con la línea procedente de la unidad.

De estas líneas no existe un plano de fabricación aportado por el contratista en detalle, sino que los documentos aportados por el contratista se pueden encontrar en el apartado__ anejo "Datos de partida".

Se ha creado un plano general de estas líneas a partir de la digitalización y lo podemos encontrar en plano "Plano_TUBE_16" anejo Planos.

También se pueden encontrar todos los datos de estas líneas en la digitalización creada en AVEVA Everytings3D y reproducida en Navisworks en el apartado "8. Visualización del modelo" del anejo "Digitalización en AVEVA E3D".

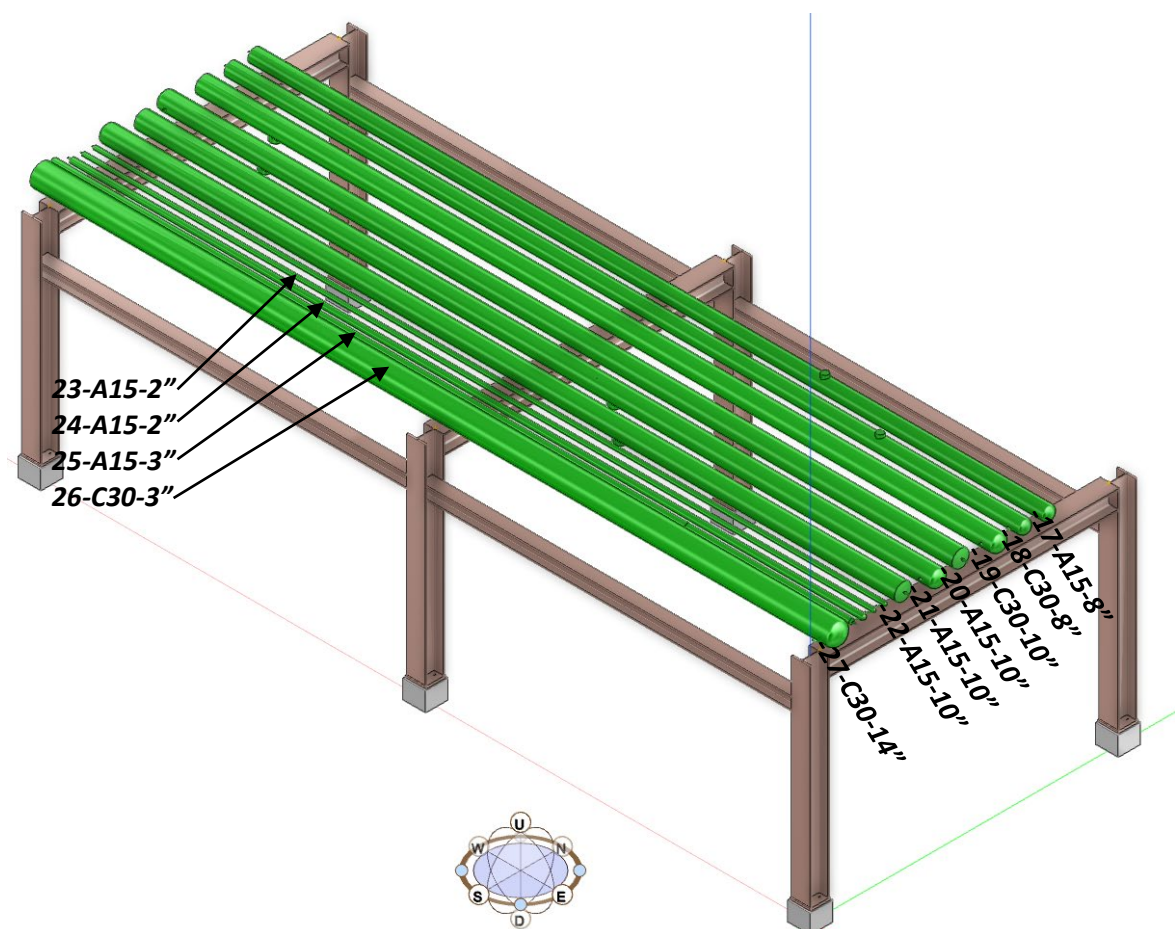


Imagen 22: captura de imagen de las 11 líneas que atraviesan el rack de oeste a este.

**2.16.1. Línea 17 → 17-A15-8"**

La línea 17 tiene un diámetro de 8 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se une con la línea 12-C30-4" con una Tee de doble entrada 200 y salida perpendicular de 100 por la parte superior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:200_100	1

Tabla 23: valores del accesorio de conexión de la tubería 17-A15-8"

2.16.2. Línea 18 → 18-A15-8"

La línea 18 tiene un diámetro de 8 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se une con la línea 13-A15-6" con una Tee de doble entrada 200 y salida perpendicular de 150 por la parte superior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:200_150	1

Tabla 24: valores del accesorio de conexión de la tubería 18-A15-8"

2.16.3. Línea 19 → 19-A15-10"

La línea 19 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se conecta con la línea 10-A15-6" mediante una tee de doble entrada de 250 y salida perpendicular de 150 por la parte inferior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:250_150	1

Tabla 25: valores del accesorio de conexión de la tubería 19-A15-10"

2.16.4. Línea 20 → 20-A15-10"

La línea 20 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se conecta con la línea 11-A15-6" mediante una tee de doble entrada de 250 y salida perpendicular de 150 por la parte inferior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:250_150	1

Tabla 26: valores del accesorio de conexión de la tubería 20-A15-10"

2.16.5. Línea 21 → 21-A15-10"

La línea 21 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se conecta con la línea 14-A15-6" mediante una tee de doble entrada de 250 y salida perpendicular de 150 por la parte inferior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:250_150	1

Tabla 27: valores del accesorio de conexión de la tubería 21-A15-10"

**2.16.6. Línea 22 → 22-A15-10"**

La línea 22 tiene un diámetro de 10 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea se conecta con la línea 15-A15-6" mediante una tee de doble entrada de 250 y salida perpendicular de 150 por la parte inferior del rack.

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
TEE	A150/RT:250_150	1

Tabla 28: valores del accesorio de conexión de la tubería 22-A15-10"

2.16.7. Línea 23 → 23-A15-2"

La línea 23 tiene un diámetro de 2 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Esta línea es la encargada suministra aire a todos los instrumentos que lo necesiten.

2.16.8. Línea 24 → 24-A15-2"

La línea 24 tiene un diámetro de 2 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea encargada de llevar aire a las partes de la planta que lo requieran.

2.16.9. Línea 25 → 25-A15-3"

La línea 25 tiene un diámetro de 3 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #150 libras.

Es la línea que lleva el agua para diferentes servicios.

2.16.10. Línea 26 → 26-C30-3

La línea 26 tiene un diámetro de 3 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Por esta línea circula el vapor a baja presión.

2.16.11. Línea 27 → 27-C30-14"

La línea 27 tiene un diámetro de 14 pulgadas, un Schedule STD y una clase de #300 libras.

Por esta línea circula un producto.

2.17. Briddle #1

Este medidor de nivel está instalado en el intercambiador de calor hervidor E-101.

Como se puede apreciar P&ID que se muestra en la imagen 6 de la Memoria descriptiva, este Briddle utiliza los datos obtenidos del intercambiador E-101 para gobernar la estación de válvulas de control de la línea 9-C30-4".

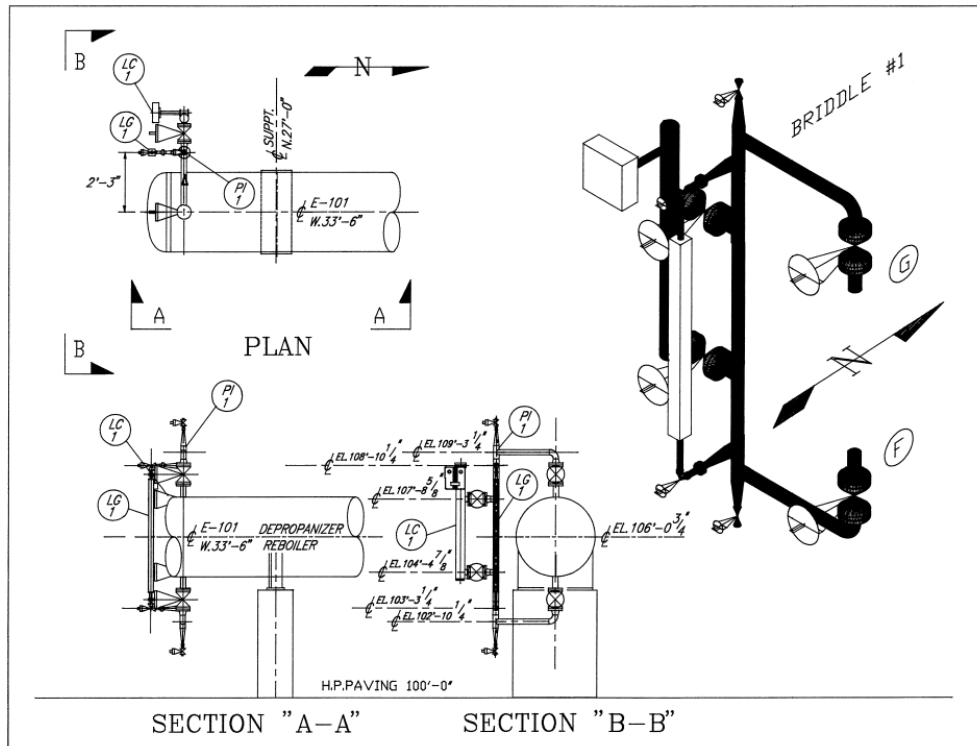


Imagen 23: plano de fabricación del medidor controlador "BRIDDLE #1"

Lista de materiales que componen el Briddle #1:

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A150/ABEB530:15	2
ELBO	A150/EL90:50	2
FLAN	A150/BFRF:25	1
FLAN	A150/WNRF:50	9
GASK	A150/GRF:50	9
TEE	A150/ST:50_50	9
REDU	A150/CR:50_25	1
REDU	A150/CR:50_15	4
TUBI	A150/P-XSTRG:15	4
TUBI	A150/P-STD:50	14
VALV	A150/GL-143:50	4
VALV	A150/GL-115:15	4

Tabla 29: accesorios que componen le Briddle #1

El plano de fabricación aportado por la contratista lo podemos encontrar en la imagen anterior y en el apartado "7.15. Briddle #1" del anejo "Datos de partida". También podemos encontrar el plano obtenido de la digitalización del modelo en el plano "Plano_TUBE_17" del anejo "Planos".

Es posible acceder a todos los datos del medidor y sus accesorios desde la digitalización que encontramos en el apartado "8. Visualización del modelo" en el anejo "Digitalización con AVEVA E3D".

2.18. Briddle #2

Este medidor está instalado en el depósito acumulador V-102. En la imagen 6 de la memoria descriptiva, podemos apreciar en el P&ID, como la señal que obtiene este medidor, abandona la unidad para conectarse con otro equipo en otro lugar.

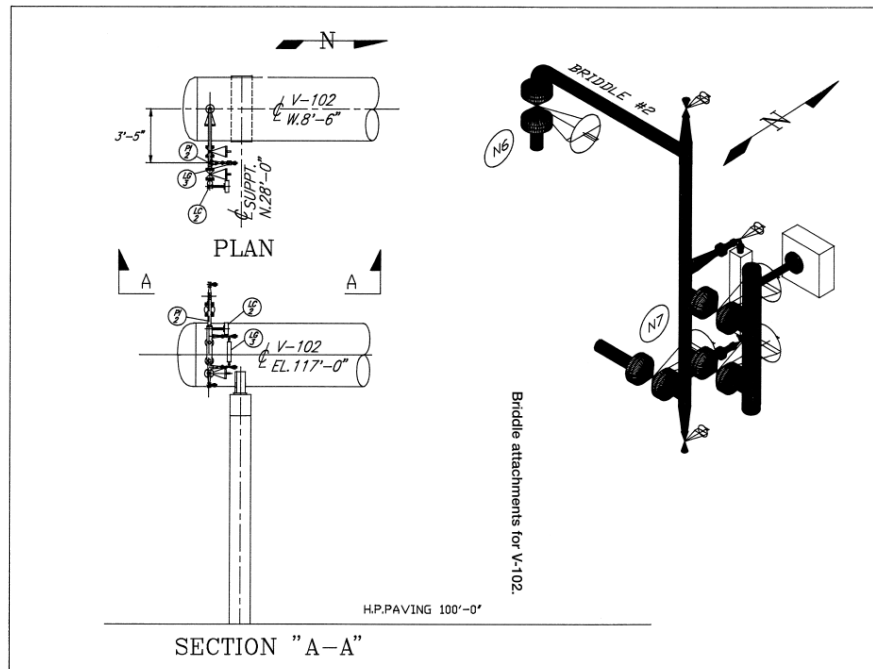


Imagen 24: plano de fabricación del medidor controlador "BRIDDLE #2"

La lista de elementos que componen este medidor la encontramos en la siguiente tabla:

Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:50	1
ELBO	A150/ABEB530:15	2
ELBO	A150/EL90:50	1
FLAN	A150/BFRF:20	1
FLAN	A150/WNRF:50	10
FLAN	A150/SORF:50	1
GASK	A150/GRF:50	10
TEE	A150/ST:50_50	9
REDU	A150/CR:50_20	3
REDU	A150/CR:50_15	2
TUBI	A150/P-XSTRG:20	1
TUBI	A150/P-XSTRG:15	3
TUBI	A150/P-STD:50	15
VALV	A150/GL-115:20	2
VALV	A150/GL-115:15	2
VALV	A150/GA-59:50	1
VALV	A150/GL-143:50	3

Tabla 30: accesorios que componen le Briddle #2

El plano de fabricación aportado por la contratista lo podemos encontrar en la imagen anterior y en el apartado "7.16. Briddle #2" del anejo "Datos de partida". También podemos encontrar el plano obtenido de la digitalización del modelo en el plano "Plano_TUBE_18" del anejo "Planos".

3. Estructuras

En este apartado se van a dar los valores de construcción de las diferentes estructuras que interactúan en la unidad.

3.1. Rack

La parte del rack que está dentro de la unidad de propanizadora, está formado por 3 pórticos de 3,657 metros de altura y 4,877 metros de longitud. Estos pórticos se unen y rigidizan entre sí, mediante unas vigas transversales de 6,1 metros de longitud que unen los pilares de los pórticos a una altura de 3,048m.

Todos los perfiles que forman las estructuras están contruidos en acero S-275.

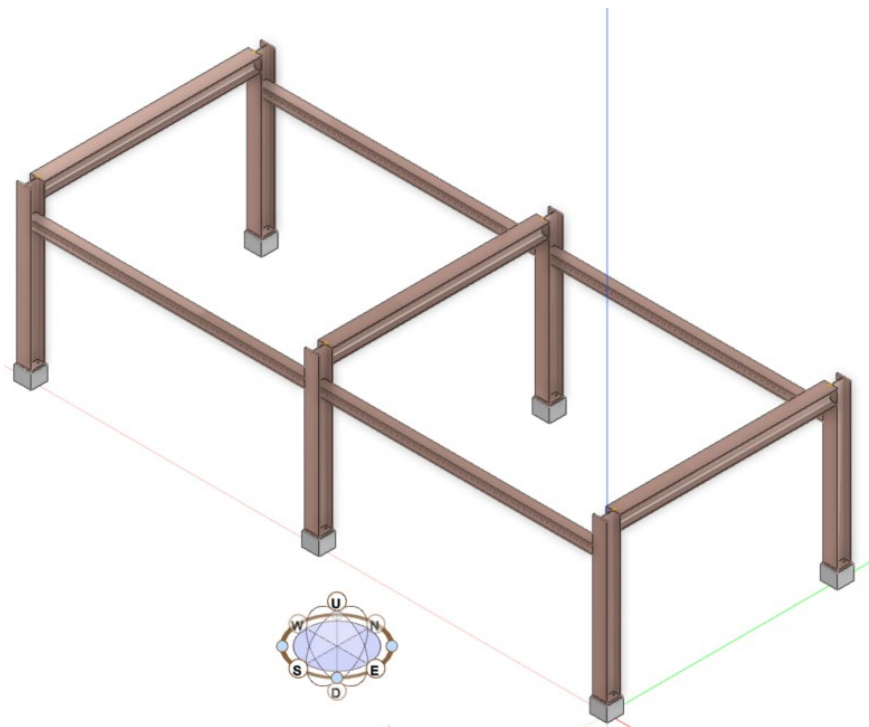


Imagen 25: captura del rack, formado por 3 pórticos y 4 vigas transversales

Especificación	Longitud	Unidades iguales
HEB-220 (Pilar)	3333 mm	6
HEB-220 (Dintel)	4767 mm	3
HEB-140 (Viga Transversal)	6090,5 mm	4
Placa anclaje	357,2x357,2x20 mm	6

Tabla 31: perfiles necesarios para montar el Rack

Los pilares con una cota en la zona alta de 4877mm, comienza en unas placas de anclajes de 357,2x357,2x20mm que conectan con los cimientos de hormigón armado.

La unión de los dinteles con los pilares es por el interior de la estructura soldando el perfil de los dinteles en el perímetro interior de los pilares.

3.2. Soporte corto W

Soporte pequeño en forma de T situado en noreste de la unidad y que soporta las unidades 10-A15-6" y 11-A15-6".

El análisis de la influencia sobre el soporte se ha realizado simulando las tuberías en el programa CaePipe y se puede encontrar estos datos en los apartados "8.2.2. Carga en los soportes" y "9.2.2. Carga en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Luego se ha analizado y verificado el soporte de forma analítica en el apartado "8. Soporte corto W" del anejo "Cálculo estructural" y también de manera digital en el apartado "12.4. Soporte corto W" del mismo anejo.

Tras estos análisis se ha decidido fabricar el soporte en acero s-275 y un perfil HEB-160.

El soporte llega a una cota máxima de 3048mm sobre el nivel de la planta y el soporte que lo corona una tiene longitud de 762mm, separándose las tuberías 337mm entre ellas (muy por encima de lo recomendado en las distancias mínimas de las tuberías que se recoge en el anejo "Datos físicos y geométricos" apartado "13. Separación mínima entre tuberías") dejando un ala de 212,5mm a cada lado.

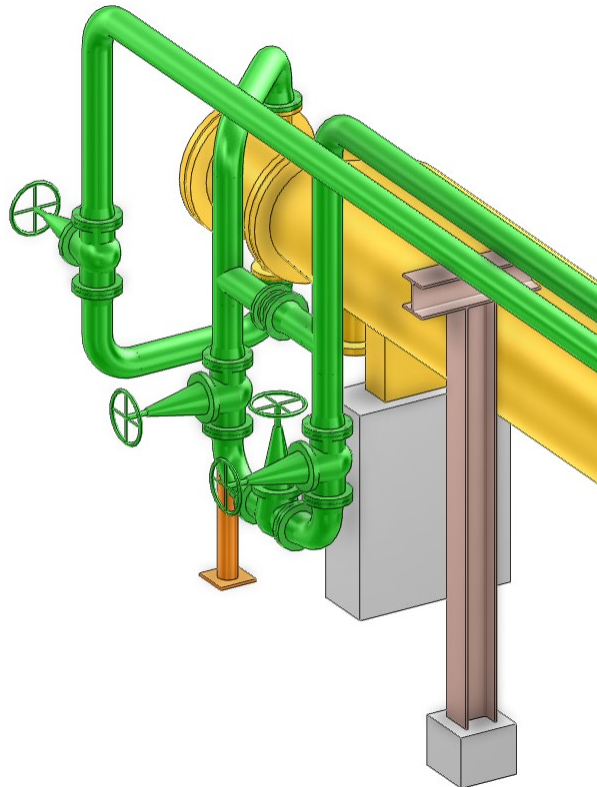


Imagen 26: captura de AVEVA E3D del soporte corto W y las tuberías que soporta

Especificación	Longitud	Unidades iguales
HEB-160	2888 mm	1
HEB-160 Viga)	762 mm	1
Placa de anclaje	315,6X315,6X20 mm	1

Tabla 32: lista de materiales del soporte corto W

El plano de montaje aportado por la promotora se puede encontrar en el apartado "5. Planos del rack y los soportes. Estructuras metálicas" del anejo "Datos de partida".

También se puede encontrar el plano obtenido a través de la digitalización en el plano “Plano ESTR_02” del anejo “Planos” y la digitalización con el soporte corto W en el apartado “8. Visualización del modelo” en el anejo “Digitalización con AVEVA E3D”.

3.3. Soporte largo Ñ

El soporte largo Ñ se encuentra entre el intercambiador de calor condensador E-102 y el depósito V-102. Sobre este soporte descansa 4 líneas; 15-A15-6”, 5-C30-8”, 14-A15-6” y 4-C30-10”.

Para calcular los esfuerzos que transmiten estas líneas al soporte, se han simulado las 4 líneas completas en el programa CaePipe.

Con los datos de los esfuerzos que transmiten las líneas al soporte, se han realizado dos estudios, primero uno analítico, que podemos encontrar en el apartado “9. Soporte largo Ñ” del anejo “Cálculo estructural”, donde se verifica el soporte en ELU respecto a las tensiones y en ELS para verificar las deformaciones, que son el punto más restrictivo de este soporte. Se ha calculado también de forma digital mediante Inventor y se puede encontrar los resultados en el apartado “12.5. Soporte largo Ñ” del anejo “Cálculo estructural”.

Tras estos estudios, se ha decidido fabricar el soporte con perfiles HEM-240.

El perfil llega a una cota máxima de 3048 mm sobre el nivel de la planta y lo corona una viga de 1524 mm colocada en su centro, que soporta las tuberías de manera asimétrica.

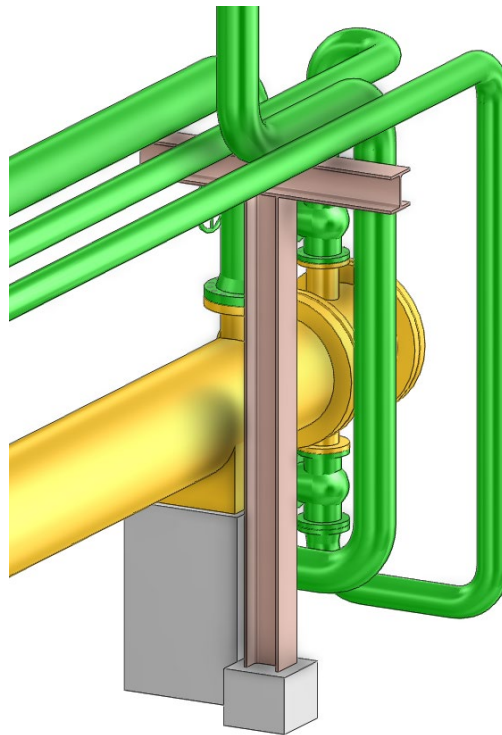


Imagen 27: captura de AVEVA E3D del soporte largo Ñ y las tuberías que soporta

Especificación	Longitud	Unidades iguales
HEM-240 (Pilar)	2888 mm	1
HEM-240 (Viga)	1524 mm	1
Placa de anclaje	390x390x20	1

Tabla 33: lista de materiales del soporte largo Ñ

El plano de montaje aportado por la promotora se puede encontrar en el apartado “5. Planos del rack y los soportes. Estructuras metálicas” del anejo “Datos de partida”.

También se puede encontrar el plano obtenido en el plano “Plano ESTR_03” del anejo “Planos” y la digitalización con el soporte corto W en el apartado “8. Visualización del modelo” en el anejo “Digitalización con AVEVA E3D”.

3.4. Trunnions

3.4.1. Trunnion línea 7-C30-4”

Este trunnion se sitúa en la línea 7-C30-4” sosteniendo su estación de válvulas de control.

Se ha realizado el análisis de la línea mediante CaePipe para estudiar el comportamiento del soporte. Estos datos se pueden encontrar en el apartado “12.1. Simulación línea 7-C30-4”” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

Para comprobar que el trunnion soporte los requisitos de la línea, se ha realizado un análisis analítico en el apartado “10.1.1. Trunnion $\varnothing 100\text{mm} \times 3\text{mm}$ para líneas de 4”” del Anejo “Cálculo estructural”.

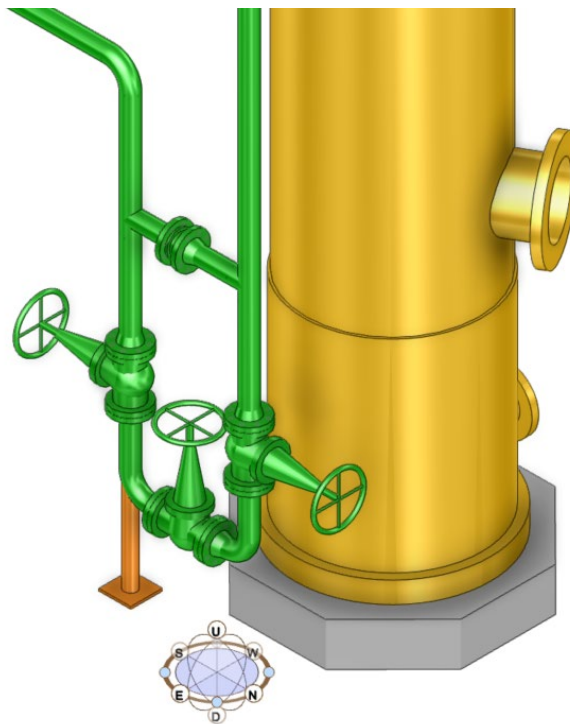


Imagen 28: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 7-C30-4

Este trunnion está fabricado en acero S-275 y el cilindro tiene una longitud de 749,2mm, un diámetro de 100mm y un grosor de 2mm. Se poya sobre una placa de anclaje de 25x25x2mm fabricada en el mismo acero, que no está unida al pavimento para permitir el deslizamiento (sin limitarlo en ninguna dirección).

Trunnion Línea 7-C30-4”		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	749,2 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1

Tabla 34: lista de materiales del trunnion de la línea 7-C30-4”

No existen planos de trunnions aportados por la promotora, si no que directamente aparecen en los planos de las líneas que los utilizan.

El plano obtenido a partir de la digitalización, lo podemos encontrar en el anejo “Planos” número de plano “Plano_ESTR_04”.

3.4.2. Trunnion línea 9-C30-4”

Este trunnion se sitúa sujetando la estación de válvulas de control de la línea 9-C30-4”.

Para saber cuál es la tensión que soporta este trunnion, se ha analizado junto a la línea 9 un análisis en CaePipe en el apartado “7. Simulación línea 9-C30-4”, del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Donde podemos encontrar los valores máximos que soporta este elemento.

Para comprobar que el tubo metálico soldado en el codo de la línea soporte las tensiones obtenidas del análisis, se ha realizado un análisis a pandeo de forma analítica en el apartado “10.1.1. Trunnion Ø100mmx3mm para líneas de 4”” del anejo “Cálculo estructural”.

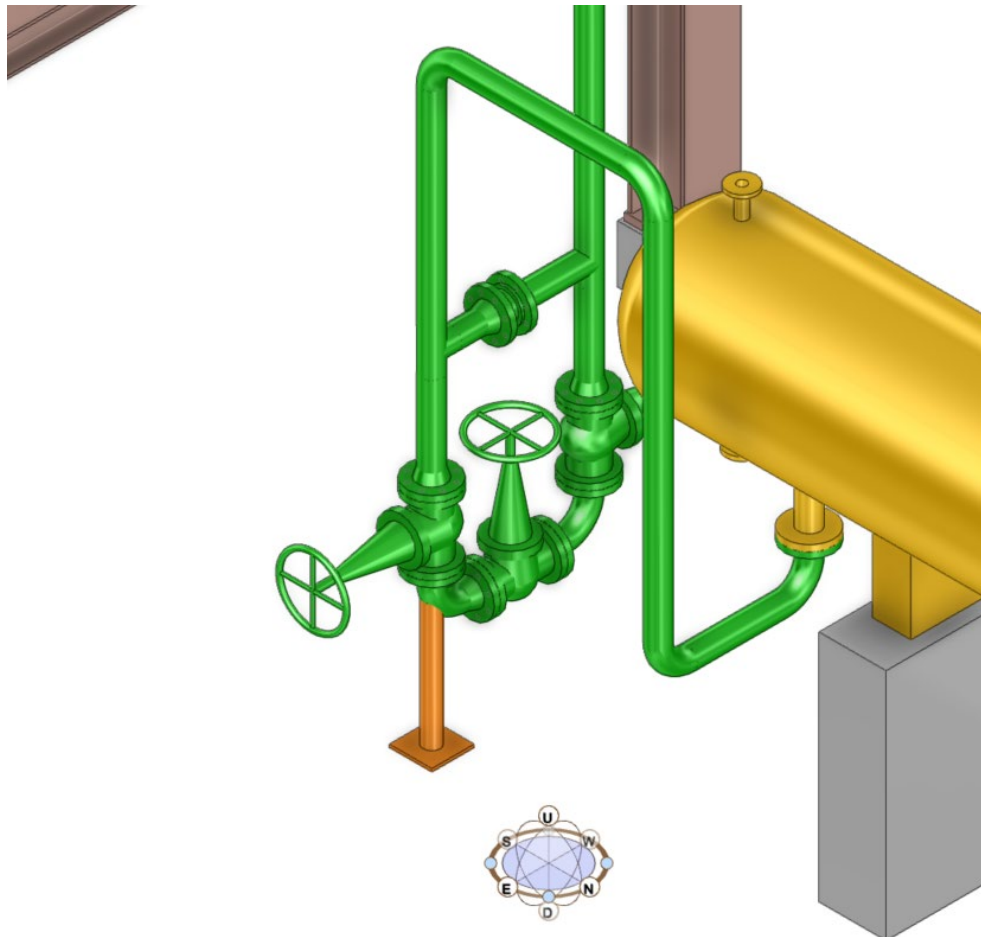


Imagen 29: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 9-C30-4”

Este trunnion está fabricado en acero S-275 y el cilindro tiene una longitud de 760mm, un diámetro de 100mm y un grosor de 2mm. Se poya sobre una placa de anclaje de 25x25x2mm fabricada en el mismo acero, que no está unida al pavimento para permitir el deslizamiento (sin limitarlo en ninguna dirección).

Trunnion Línea 9-C30-4"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	760 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1

Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 9-C30-4"

El plano obtenido a partir de la digitalización, lo podemos encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano ESTR_04".

3.4.3. Trunnion línea 11-A15-6"

Este trunnion soporta el peso de la estación de válvulas de control de la línea 11-A15-6" a su salida del intercambiador hervidor E-101. Este trunnion es el único que soporta una tubería de 6" y por ello, será el único de 150mm de diámetro.

Para saber cómo se carga la línea este trunnion, se han analizado ambos en el programa CaePipe. Este análisis lo podemos encontrar en el apartado "9. Simulación línea 11-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Estos datos obtenidos con el análisis de la línea se han comparado con lo que aguanta el soporte calculado en el apartado "10.1.2. Trunnion Ø150mmx4mm para líneas de 6"" del anejo "Cálculo estructural" y demostrando de forma sobrada su cumplimiento.

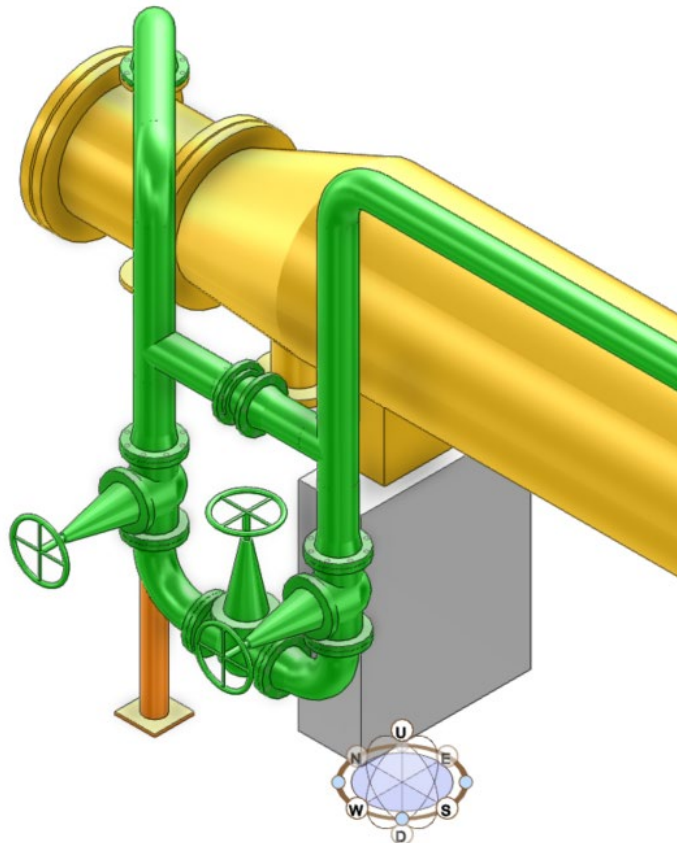


Imagen 30: trunnion que sostiene la estación de control de la línea 11-A15-6"

Este trunnion está fabricado en acero S-275, el cilindro tiene una longitud de 836,2mm, un diámetro de 150mm y un grosor de 5mm. Se poya sobre una placa de anclaje de 30x30x2mm fabricada en el

mismo acero, que en este caso, si está anclada al pavimento restringiendo el desplazamiento en todas las direcciones.

Trunnion Línea 11-A15-6"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 150x5 mm	836,2 mm	1
Placa de anclaje	230x230x16	1

Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 11-A15-6"

El plano obtenido a partir de la digitalización, lo podemos encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano ESTR_04".

3.4.4. Trunnion línea 12-C30-4"

Este trunnion soporta el peso de la estación de válvulas de control de la línea 12-C30-4" justo debajo del depósito acumulador V-102.

Esta línea es la única en la que interviene un trunnion y no se ha simulado en CaePipe, debido a su sencillez en comparación con las líneas anteriores 7-C30-4" y 9-C30-4".

Se instalará el mismo tubo estructural que a las líneas anteriores, dando por bueno, que si cumple en los casos anteriores con una sollicitación únicamente del 10% del tubo, cumplirán satisfactoriamente para este caso.

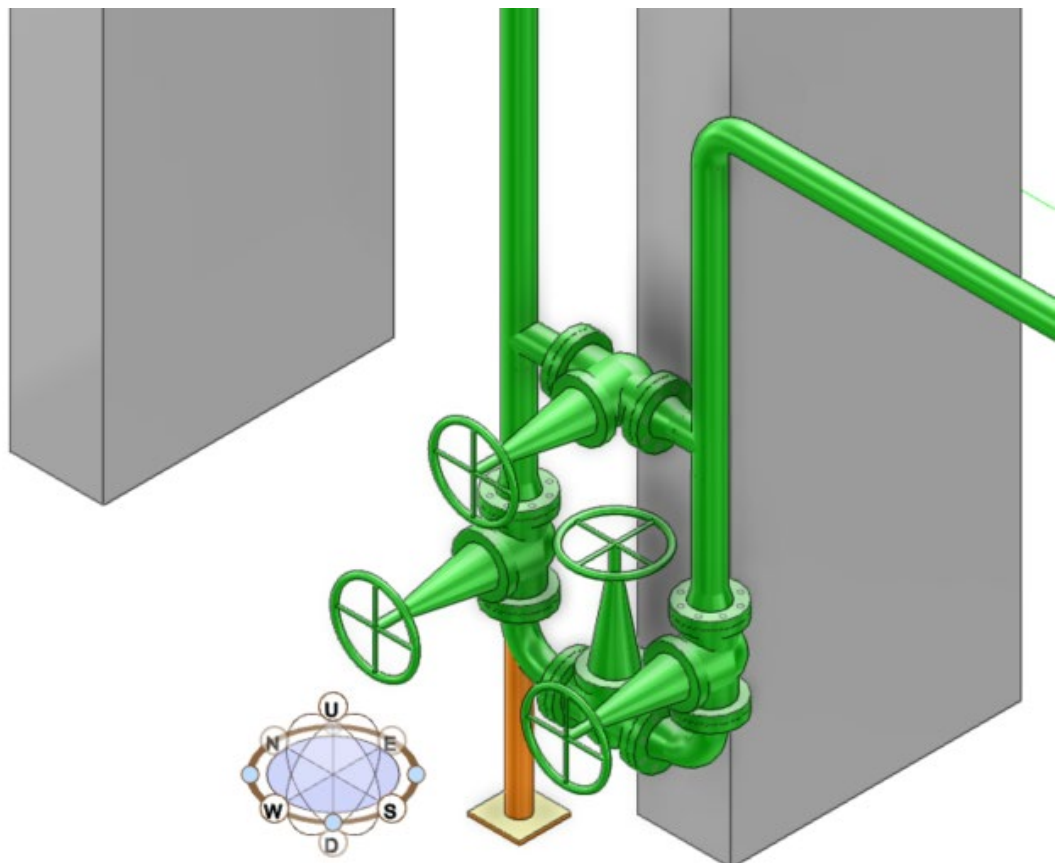


Imagen 31: trunnion que sostiene la estación de control de la línea 12-C30-4"

Este trunnion está fabricado en acero S-275 y el cilindro tiene una longitud de 760mm, un diámetro de 100mm y un grosor de 2mm. Se poya sobre una placa de anclaje de 25x25x2mm fabricada en el

mismo acero, que no está unida al pavimento para permitir el deslizamiento (sin limitarlo en ninguna dirección)

Trunnion Línea 12-C30-4"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	760 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1

Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 12-C30-4"

El plano obtenido a partir de la digitalización, lo podemos encontrar en el anejo "Planos" numero de plano "Plano_ESTR_04".

3.5. Soporte extra para las bombas

Como se explica en el apartado "3. Bombas P-101A & P-101B" de la Memoria justificativa; para que las bombas P-101 A & B cumplan con la normativa API-610, y tras los análisis realizados en el apartado "14. Verificación bombas P-101A & P-101B" anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe", se ha tomado la decisión de incluir dos soportes prefabricados en la línea 6-C30-10".

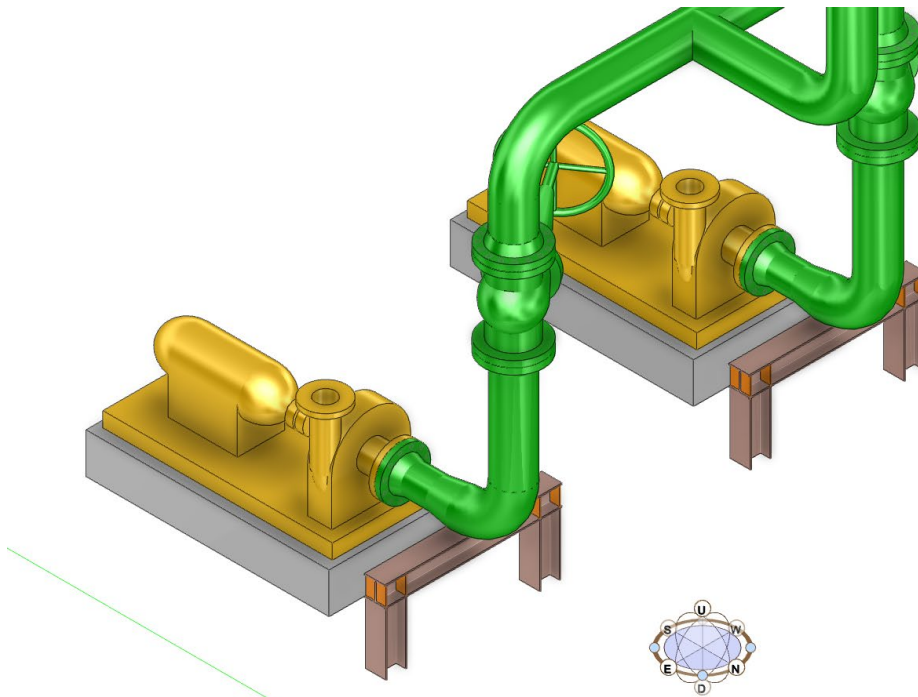


Imagen 32: soporte auxiliar montado en la línea 6 para no sobrecargar las toberas de succión

La fabricación de estos soportes se ha encargado a la empresa "Pihasa", con unas medidas de extremo a extremo de 1248mm y 547mm de altura, fabricados en un perfil HEB-140. El soporte ira anclado directamente al pavimento.

Los valores que transmite la tubería al soporte se han simulado mediante CaePipe y los podemos encontrar en el apartado "13.2.1.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".



Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

3. Memoria justificativa



3. Memoria justificativa

1. Tuberías.....	3
1.1. Simulación de las tuberías.....	3
1.1.1. Línea simulada 1-C30-8”	3
1.1.2. Línea simulada 4-C30-10”	4
1.1.3. Línea simulada 5-C30-8”	5
1.1.4. Línea simulada 6-C30-10”	6
1.1.5. Líneas simuladas 7-C30-4” y 7-C30-6”	7
1.1.6. Línea simulada 9-C30-4”	10
1.1.7. Línea simulada 10-A15-6”	11
1.1.8. Línea simulada 11-A15-6”	12
1.1.9. Línea simulada 14-A15-6”	13
1.1.10. Línea simulada 15-A15-6”	14
2. Estructuras	15
2.1. Viga transversal AB.....	15
2.1.1. Viga transversal AB en Estado Limite Ultimo	16
2.1.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio.....	16
2.2. Viga transversal CD.....	17
2.2.1. Viga transversal CD en Estado Limite Ultimo	18
2.2.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio.....	18
2.3. Pórticos del rack	19
2.3.1. Dintel.....	19
2.3.2. Pilar HI.....	21
2.3.3. Pilar MN	21
2.3.4. Pilar UV	22
2.3.5. Placa de anclaje pilares del Rack.....	23
2.4. Soporte corto W	23
2.4.1. Soporte corto W en estado Limite Ultimo	24
2.4.2. Soporte corto W en Estado Limite de Servicio	24
2.4.3. Placa de anclaje del soporte corto W	24
2.4.4. Conclusiones soporte corto W	25
2.5. Soporte largo Ñ.....	25
2.5.1. Soporte largo Ñ en Estado Limite Ultimo	26
2.5.2. Soporte largo Ñ en Estado Limite de Servicio.....	26
2.5.3. Placa de anclaje del soporte largo Ñ	27



2.5.4.	Conclusiones soporte largo Ñ.....	27
3.	Bombas P-101 A & P-101 B.....	27



1. Tuberías

En este apartado encontraremos los resultados de la simulación de las líneas en CaePipe y su verificación de acuerdo con la normativa ASME B31.3.

1.1. Simulación de las tuberías

La unidad está compuesta por 26 líneas (la línea 8 no existe), contando con la línea 7 compuesta por dos ramales. De las cuales 11 líneas circulan únicamente por el rack. Lo que nos queda con 15 líneas que intervienen activamente en la unidad.

Las líneas que circulan únicamente por el rack no se han simulado ya que únicamente es una tubería que atraviesa la unidad (con un accesorio como mucho).

De estas 15 líneas que intervienen en la unidad (junto con los dos ramales de la línea 7), se han simulado las 11 líneas que mayor influencia tienen en la unidad, o bien por su longitud, por sus apoyos o por su difícil geometría. Dando las otras 4 líneas por buenas por su simplicidad.

Las líneas simuladas son:

- 1-C30-8"
- 4-C30-10"
- 5-C30-8"
- 7-C30-4" y 7-C30-6"
- 6-C30-10"
- 9-C30-4"
- 10-A15-6"
- 11-A15-6"
- 14-A15-6"
- 15-A15-6"

Con la simulación de las líneas se ha obtenido los valores que transmiten a los apoyos, ya sea sobre las vigas transversales, sobre los soportes o sobre los trunion. También gracias a la simulación de la línea podemos obtener la comprobación de cumpliendo de la normativa ASME B31.3.

La simulación se ha llevado a cabo mediante el programa de simulación de tuberías CaePipe. Este análisis y simulación lo podemos encontrar en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

En este apartado se van a incluir los resultados de las líneas sobre los diferentes apoyos y el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, el resto de los datos los podemos encontrar en el análisis completo situado en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe"

1.1.1. Línea simulada 1-C30-8"

La línea 1-C30-8" se ha simulado en el apartado "4. Simulación explicada de la línea 1-C30-8" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". En este apartado está explicado perfectamente como se realiza la simulación y los diferentes resultados que nos da el programa.

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en la "Imagen 25: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 1-C30-8" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe"

Esta imagen que se muestra también a continuación es la captura a la solución de la simulación por el programa CaePipe, esta tabla nos muestra en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO) la comparativa entre las tensiones que tenemos en nuestra línea (SL; SE; SL+SO) con las tensiones permitidas para cada caso por la normativa ASME B31.3 (SH; SA; SHO). Esta comparativa nos la da en formato decimal, siendo cualquier valor igual o mayor a 1 inadmisibles para la normativa ASME B31.3 y cualquier valor por encima de 0,9 necesario de estudio.

#	Sustained			Expansion			Occasional					
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	20A	27.49	137.9	0.20	50A	19.89	206.8	0.10	20A	42.33	183.4	0.23
2	10	26.22	137.9	0.19	50B	19.40	206.8	0.09	20B	35.65	183.4	0.19
3	20B	22.46	137.9	0.16	20A	6.810	206.8	0.03	10	34.52	183.4	0.19
4	15	22.28	137.9	0.16	20B	6.370	206.8	0.03	15	30.82	183.4	0.17
5	30	19.67	137.9	0.14	15	3.591	206.8	0.02	60A	28.75	183.4	0.16
6	60A	19.63	137.9	0.14	10	3.433	206.8	0.02	50A	28.63	183.4	0.16
7	55	18.81	137.9	0.14	30	2.908	206.8	0.01	50B	28.28	183.4	0.15
8	40	18.15	137.9	0.13	40	2.665	206.8	0.01	30	25.15	183.4	0.14
9	70A	17.01	137.9	0.12	70B	2.141	206.8	0.01	55	24.74	183.4	0.13
10	60B	16.63	137.9	0.12	60A	1.728	206.8	0.01	70B	23.93	183.4	0.13
11	50A	16.35	137.9	0.12	55	1.421	206.8	0.01	70A	23.85	183.4	0.13
12	50B	15.95	137.9	0.12	70A	0.308	206.8	0.00	60B	23.52	183.4	0.13
13	80	15.76	137.9	0.11	60B	0.171	206.8	0.00	40	21.19	183.4	0.12
14	70B	15.29	137.9	0.11	80	0.133	206.8	0.00	80	16.05	183.4	0.09
15	90	15.27	137.9	0.11	90	0.133	206.8	0.00	90	15.46	183.4	0.08

Imagen 1: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 1-C30-8"

En la imagen anterior podemos ver como cumple la línea 1-C30-8" con la normativa ASME B31.3 en todos los puntos y bajo las diferentes hipótesis de cálculo, sin superar el 23% en ningún caso.

Ahora que sabemos que la línea cumple perfectamente con la normativa, es necesario saber que esfuerzos transmite la línea a la viga transversal CD. Este valor en sus diferentes hipótesis de cálculo (que nos ofrece el programa CaePipe) lo encontramos en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
1-C30-8	55	-1855	0	-3722	176	-4828	1449	P5	Viga transversal CD

Tabla 1: valores para los esfuerzos que transmite la línea 1-C30-8" en su apoyo

Estos valores también los podemos encontrar directamente de la simulación en el apartado "4.2.4. Support load summary" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Las cargas que transmite la línea 1-C30-8" a la viga transversal CD se han llamado carga P5y (Carga) y P5z (fricción).

1.1.2. Línea simulada 4-C30-10"

La línea 4-C30-10" se ha simulado en el apartado "5. Simulación línea 4-C30-10"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado "5.2.1. Análisis de tensiones" en la "Imagen 69: resultados

tensionales del modelo 4-C30-10” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	10	23.35	137.9	0.17	60A	13.27	206.8	0.06	20A	27.94	183.4	0.15
2	20A	22.81	137.9	0.17	30A	9.353	206.8	0.05	10	27.77	183.4	0.15
3	15	20.35	137.9	0.15	60B	7.773	206.8	0.04	60A	25.76	183.4	0.14
4	50	17.90	137.9	0.13	40B	6.159	206.8	0.03	15	24.84	183.4	0.14
5	20B	17.03	137.9	0.12	50	5.271	206.8	0.03	50	23.63	183.4	0.13
6	60A	15.42	137.9	0.11	90	5.061	206.8	0.02	20B	22.81	183.4	0.12
7	30A	15.08	137.9	0.11	30B	4.903	206.8	0.02	60B	21.24	183.4	0.12
8	60B	13.88	137.9	0.10	80	4.531	206.8	0.02	90	21.19	183.4	0.12
9	90	13.08	137.9	0.09	40A	4.227	206.8	0.02	80	21.04	183.4	0.11
10	80	13.06	137.9	0.09	20B	4.146	206.8	0.02	70	20.78	183.4	0.11
11	70	12.96	137.9	0.09	70	3.749	206.8	0.02	30A	20.05	183.4	0.11
12	30B	12.69	137.9	0.09	20A	2.127	206.8	0.01	30B	17.23	183.4	0.09
13	40A	12.42	137.9	0.09	15	0.812	206.8	0.00	40A	15.29	183.4	0.08
14	40B	12.01	137.9	0.09	10	0.710	206.8	0.00	40B	13.84	183.4	0.08

Imagen 2: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 4-C30-10”

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 4-C30-10” y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 17%.

El valor del soporte donde se sustenta la línea, lo podemos en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
4-C30-10”	50	-4463	0	-8093	81	-8818	2645	P14	Soporte largo Ñ

Tabla 2: valores para los esfuerzos que transmite la línea 4-C30-10” en su apoyo

Los valores de la tabla, también los podemos encontrar en el apartado “5.2.2. Cargas sobre los soportes” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. La carga que transmite la línea 4-C30-10” al soporte largo Ñ se han llamado P14y (carga) y P14z (fricción).

1.1.3. Línea simulada 5-C30-8”

La línea 5-C30-8” se ha simulado en el apartado “6. Simulación línea 5-C30-8”” del anejo

“Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado “6.2.1. Análisis de tensiones” en la “Imagen 82: resultados

tensionales del modelo 5-C30-8” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	60	16.81	137.9	0.12	70B	10.22	206.8	0.05	60	17.86	183.4	0.10
2	90B	16.03	137.9	0.12	90B	7.182	206.8	0.03	90B	17.51	183.4	0.10
3	50B	15.95	137.9	0.12	80A	6.926	206.8	0.03	70B	17.25	183.4	0.09
4	70B	15.27	137.9	0.11	40A	6.449	206.8	0.03	50B	17.12	183.4	0.09
5	120	15.15	137.9	0.11	70A	6.303	206.8	0.03	30A	16.48	183.4	0.09
6	110	15.10	137.9	0.11	40B	5.742	206.8	0.03	30B	16.39	183.4	0.09
7	100	14.99	137.9	0.11	50A	5.669	206.8	0.03	80A	16.28	183.4	0.09
8	80A	14.71	137.9	0.11	50B	5.528	206.8	0.03	10	16.22	183.4	0.09
9	30A	14.42	137.9	0.10	30B	3.822	206.8	0.02	20	16.13	183.4	0.09
10	40A	14.23	137.9	0.10	120	3.491	206.8	0.02	100	16.05	183.4	0.09
11	10	14.15	137.9	0.10	110	3.452	206.8	0.02	110	15.95	183.4	0.09
12	20	14.11	137.9	0.10	100	3.432	206.8	0.02	120	15.84	183.4	0.09
13	30B	13.97	137.9	0.10	30A	2.445	206.8	0.01	90A	15.77	183.4	0.09
14	90A	13.96	137.9	0.10	80B	2.247	206.8	0.01	70A	15.72	183.4	0.09
15	80B	13.90	137.9	0.10	20	2.210	206.8	0.01	80B	15.70	183.4	0.09
16	70A	13.86	137.9	0.10	10	2.170	206.8	0.01	40A	15.30	183.4	0.08
17	40B	13.66	137.9	0.10	60	1.916	206.8	0.01	50A	14.52	183.4	0.08
18	50A	13.53	137.9	0.10	90A	1.831	206.8	0.01	40B	14.37	183.4	0.08

Imagen 3: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 4-C30-10”

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 5-C30-8” y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 12%.

Ahora que sabemos que cumple la normativa, obtendremos del análisis en CaePipe el valor que transmite esta tubería al soporte largo Ñ.

Estos valores los podemos encontrar en el apartado “6.2.2. Cargas sobre los soportes” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”, imagen 104.

El valor del soporte donde se sustenta la línea, lo podemos en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
5-C30-8	60	-2142	0	-3648	13	-2206	662	P12	Soporte largo Ñ

Tabla 3: valores para los esfuerzos que transmite la línea 5-C30-8” en su apoyo

La carga que transmite la línea 5-C30-8” al soporte largo Ñ se han llamado P15y (carga) y P15z (fricción).

1.1.4. Línea simulada 6-C30-10”

Esta línea se simula con un objetivo extra a las anteriores. En este caso de la simulación de la línea 6-C30-10” hay que obtener los valores que transmite a las toberas de las bombas P-101 A & B y así comprobar si la instalación de las bombas cumple con la normativa API-610.

El análisis del cumplimiento de las bombas se ha realizado en el apartado “3. Bombas P-101 A & B” de esta misma memoria, tras este análisis, se ha tomado la decisión de añadir dos soportes en los últimos codos de la línea 6-C30-10”, que servirán para que la tubería descansa sobre el soporte en vez de cargar las bombas. La simulación completa (junto con las diferentes hipótesis) de la línea 6-C30-10” se puede encontrar en el apartado “13. Simulación línea 6-C30-10”” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

Primero se verificará que la línea cumpla con la normativa ASME B31.3, que se puede ver en el apartado “13.1.2.1. Tensiones” imagen 285 del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	140	34.46	137.9	0.25	40	5.680	206.8	0.03	79	35.79	183.4	0.20
2	79	34.46	137.9	0.25	30A	2.373	206.8	0.01	140	35.69	183.4	0.19
3	130	29.91	137.9	0.22	80B	2.169	206.8	0.01	77	31.09	183.4	0.17
4	77	29.91	137.9	0.22	50B	2.169	206.8	0.01	130	31.03	183.4	0.17
5	110B	18.45	137.9	0.13	140	1.360	206.8	0.01	110B	19.20	183.4	0.10
6	73B	18.45	137.9	0.13	79	1.360	206.8	0.01	73B	19.08	183.4	0.10
7	110A	15.79	137.9	0.11	110A	1.167	206.8	0.01	10	18.21	183.4	0.10
8	73A	15.79	137.9	0.11	73A	1.167	206.8	0.01	20	17.68	183.4	0.10
9	10	15.34	137.9	0.11	50A	1.112	206.8	0.01	40	16.21	183.4	0.09
10	20	15.12	137.9	0.11	80A	1.112	206.8	0.01	110A	16.16	183.4	0.09
11	40	15.11	137.9	0.11	130	1.094	206.8	0.01	73A	16.08	183.4	0.09
12	120	14.95	137.9	0.11	77	1.094	206.8	0.01	120	15.48	183.4	0.08
13	75	14.95	137.9	0.11	10	0.879	206.8	0.00	75	15.41	183.4	0.08
14	30A	14.39	137.9	0.10	60	0.824	206.8	0.00	30A	14.90	183.4	0.08
15	80B	13.26	137.9	0.10	90	0.824	206.8	0.00	80B	13.88	183.4	0.08
16	50B	13.26	137.9	0.10	20	0.725	206.8	0.00	50B	13.75	183.4	0.07
17	90	12.65	137.9	0.09	30B	0.674	206.8	0.00	90	13.10	183.4	0.07
18	60	12.65	137.9	0.09	73B	0.547	206.8	0.00	60	13.05	183.4	0.07
19	100	12.33	137.9	0.09	110B	0.547	206.8	0.00	30B	12.74	183.4	0.07
20	70	12.33	137.9	0.09	70	0.432	206.8	0.00	70	12.73	183.4	0.07
21	50A	11.88	137.9	0.09	100	0.432	206.8	0.00	100	12.72	183.4	0.07
22	80A	11.88	137.9	0.09	75	0.407	206.8	0.00	50A	12.43	183.4	0.07
23	30B	11.71	137.9	0.08	120	0.407	206.8	0.00	80A	12.24	183.4	0.07

Imagen 4: resultados tensionales del modelo 6-C30-10”

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 6-C30-10” y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 25%.

Los datos de la línea sobre los nuevos soportes creados se encuentran en el apartado “13.2.1.2. Cargas en los soportes” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Y se muestra en las siguientes tablas también:

Soporte anterior a P-101 A		Soporte anterior a P-101 B	
Combinación de cargas	Carga (N)	Combinación de cargas	Carga (N)
Peso vacío	-9481	Peso vacío	-9467
Sostenida	-12318	Sostenida	-12303
Operando	-12101	Operando	-12084
Sostenida + Viento	-12696	Sostenida + Viento	-12777
Operando + Viento	-12479	Operando + Viento	12558

Tabla 4: soportes en el último codo de la línea 6-C30-10”

1.1.5. Líneas simuladas 7-C30-4” y 7-C30-6”

La línea 7 tiene la peculiaridad de estar compuesta por dos ramales (Branch) diferentes.

Por limitaciones del programa de simulación CaePipe, no se han podido simular los dos ramales juntos, por lo que primero se darán los resultados de uno y luego del otro.

1.1.5.1. Ramal 7-C30-4"

Este ramal se ha simulado en el apartado "12.1. Simulación línea 7-C30-4" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Gracias a esta simulación, podemos verificar que este ramal cumple con la normativa ASME B31.3 como se demuestra en el apartado "12.1.2.1. Tensiones" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Esta tabla también se muestra a continuación.

#	Sustained			Expansion				Occasional				
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	30A	64.06	110.3	0.58	90B	0.162	165.5	0.00	90B	116.0	146.7	0.79
2	10	53.30	110.3	0.48	60A	0.122	165.5	0.00	30A	109.3	146.7	0.74
3	20	39.04	110.3	0.35	90A	0.107	165.5	0.00	60A	100.2	146.7	0.68
4	30B	31.24	110.3	0.28	60B	0.071	165.5	0.00	90A	84.26	146.7	0.57
5	60B	24.64	110.3	0.22	30A	0.041	165.5	0.00	60B	74.37	146.7	0.51
6	90B	23.36	110.3	0.21	100	0.037	165.5	0.00	10	72.80	146.7	0.50
7	70	19.73	110.3	0.18	30B	0.035	165.5	0.00	120B	72.53	146.7	0.49
8	90A	18.92	110.3	0.17	50	0.033	165.5	0.00	40	64.62	146.7	0.44
9	125	18.68	110.3	0.17	40	0.032	165.5	0.00	100	60.43	146.7	0.41
10	130A	18.36	110.3	0.17	110	0.031	165.5	0.00	80	59.03	146.7	0.40
11	80	18.35	110.3	0.17	10	0.025	165.5	0.00	30B	58.42	146.7	0.40
12	40	16.14	110.3	0.15	80	0.021	165.5	0.00	20	58.06	146.7	0.40
13	120A	16.11	110.3	0.15	20	0.018	165.5	0.00	50	57.81	146.7	0.39
14	110	15.51	110.3	0.14	120A	0.015	165.5	0.00	70	57.50	146.7	0.39
15	60A	14.69	110.3	0.13	70	0.011	165.5	0.00	110	55.45	146.7	0.38
16	120B	14.47	110.3	0.13	130A	0.009	165.5	0.00	120A	47.58	146.7	0.32
17	50	14.42	110.3	0.13	120B	0.007	165.5	0.00	125	20.07	146.7	0.14
18	100	14.28	110.3	0.13	125	0.007	165.5	0.00	130A	19.76	146.7	0.13
19	140	13.35	110.3	0.12	140	0.000	165.5	0.00	130B	14.71	146.7	0.10
20	130B	13.27	110.3	0.12	130B	0.000	165.5	0.00	140	13.42	146.7	0.09

Imagen 5: resultados tensionales del modelo 7-C30-4"

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 6-C30-10" y los de la norma ASME B31.3 no supera 79%, un dato bastante alto en comparación con el resto de las líneas pero permitido por la norma.

Este ramal apoya sobre un trunnion y sobre la viga transversal CD, los valores que transmite a estos apoyos, se pueden encontrar en el apartado "12.1.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Estos valores se muestran a continuación.

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
7-C30-4	125	-211	0	-512	0	-511	0	P4	Viga transversal CD

Tabla 5: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4" en la viga transversal CD

Línea	Diámetro (pulgadas)	Nodo	Peso vacío			Sostenida + viento			Operando + viento		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)
7-C30-4	4	90b	15	-1972	-20	1349	-2036	659	1349	-2034	659

Tabla 6: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4" en su trunnion

Para comprobar que el trunnion está bien situado, se han realizado simulaciones cambiando de posición, aunque no se muestren en este documento.

La carga que transmite la línea 7-C30-" a la viga transversal CD se han llamado P4y (carga).



1.1.5.2. Ramal 7-C30-6"

Este ramal se ha simulado en el apartado "12. Simulación línea 7-C30-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Este ramal es muy interesante, ya que además de apoyarse en la viga transversal AB, parecido como le pasaba a la línea 6-C30-10", es necesario conocer los valores que transmite a las toberas de descarga de las bombas P-101 A & B para comprobar que, junto con los datos de las toberas de succión, cumpla con la normativa API-610. Esta verificación se realiza en el apartado "3. Bombas P-101 A & B" de este mismo documento.

Ahora verificaremos que el ramal 7-C30-6" cumple con la normativa ASME B31.3. Para ello se ha simulado en CaePipe y podemos encontrar los resultados en el apartado "12.2.2.1. Tensiones" imagen 258 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Son los mismos que se muestran a continuación y demuestran que cumple la norma llegando únicamente al 8%.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	75	11.49	137.9	0.08	60	4.719	206.8	0.02	60	13.78	183.4	0.08
2	80A	11.13	137.9	0.08	10	3.360	206.8	0.02	10	13.45	183.4	0.07
3	60	10.31	137.9	0.07	140	3.166	206.8	0.02	20	13.06	183.4	0.07
4	70A	10.08	137.9	0.07	20	3.093	206.8	0.01	140	12.15	183.4	0.07
5	50A	9.644	137.9	0.07	70A	2.906	206.8	0.01	75	11.92	183.4	0.06
6	100B	9.632	137.9	0.07	130	2.906	206.8	0.01	70A	11.90	183.4	0.06
7	70B	9.164	137.9	0.07	80A	2.394	206.8	0.01	130	11.84	183.4	0.06
8	40	8.912	137.9	0.06	75	2.016	206.8	0.01	80A	11.42	183.4	0.06
9	50B	8.906	137.9	0.06	30	1.970	206.8	0.01	30	11.39	183.4	0.06
10	110	8.901	137.9	0.06	100A	1.907	206.8	0.01	70B	10.74	183.4	0.06
11	100A	8.883	137.9	0.06	120	1.812	206.8	0.01	50A	10.55	183.4	0.06
12	10	8.768	137.9	0.06	50B	1.771	206.8	0.01	120	10.53	183.4	0.06
13	140	8.761	137.9	0.06	100B	1.768	206.8	0.01	40	10.45	183.4	0.06
14	20	8.746	137.9	0.06	50A	1.592	206.8	0.01	100B	10.25	183.4	0.06
15	130	8.739	137.9	0.06	70B	0.954	206.8	0.00	110	9.960	183.4	0.05
16	90	8.718	137.9	0.06	40	0.782	206.8	0.00	50B	9.642	183.4	0.05
17	80B	8.671	137.9	0.06	110	0.654	206.8	0.00	100A	9.435	183.4	0.05
18	30	8.518	137.9	0.06	90	0.182	206.8	0.00	80B	8.873	183.4	0.05
19	120	8.506	137.9	0.06	80B	0.182	206.8	0.00	90	8.760	183.4	0.05

Imagen 6: resultados tensionales del modelo 7-C30-6"

De este ramal también obtenemos el valor de los esfuerzos que transmite a la viga transversal AB analizados en el apartado "12.2.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
7-C30-6	75	-1137	0	-1807	0	-3182	0	P1	Viga transversal AB

Tabla 7: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-6" en la viga transversal AB

La carga que transmite la línea 7-C30-6" al soporte largo Ñ se han llamado P1y (carga).

1.1.6. Línea simulada 9-C30-4”

La línea 9-C30-4” se ha simulado en el apartado “7. Simulación línea 9-C30-4”” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, para ello se ha simulado la línea en CaePipe y los resultados del apartado “7.2.1.1. Tensiones modelo 9-C30-4”” del anejo del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”, así lo demuestran. Los resultados nombrados también se muestran en la siguiente imagen.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	155	50.97	110.3	0.46	60A	2.230	165.5	0.01	155	55.55	146.7	0.38
2	90A	20.04	110.3	0.18	60B	2.193	165.5	0.01	50A	40.46	146.7	0.28
3	60B	19.52	110.3	0.18	150A	2.044	165.5	0.01	50B	39.56	146.7	0.27
4	40B	18.66	110.3	0.17	150B	1.996	165.5	0.01	60B	39.19	146.7	0.27
5	160A	18.54	110.3	0.17	50B	1.858	165.5	0.01	60A	39.00	146.7	0.27
6	60A	18.22	110.3	0.17	30A	1.803	165.5	0.01	40B	35.80	146.7	0.24
7	150A	17.02	110.3	0.15	50A	1.754	165.5	0.01	40A	34.45	146.7	0.23
8	50A	16.17	110.3	0.15	120B	1.652	165.5	0.01	30A	29.50	146.7	0.20
9	40A	15.94	110.3	0.14	30B	1.572	165.5	0.01	90A	29.45	146.7	0.20
10	30A	15.63	110.3	0.14	40B	1.500	165.5	0.01	30B	27.34	146.7	0.19
11	70	15.61	110.3	0.14	90A	1.437	165.5	0.01	150A	24.58	146.7	0.17
12	80	15.06	110.3	0.14	120A	1.229	165.5	0.01	90B	24.10	146.7	0.16
13	90B	14.88	110.3	0.13	40A	1.214	165.5	0.01	20	23.49	146.7	0.16
14	50B	14.63	110.3	0.13	20	1.149	165.5	0.01	80	22.75	146.7	0.16
15	10	13.32	110.3	0.12	10	1.109	165.5	0.01	10	22.08	146.7	0.15
16	20	13.29	110.3	0.12	130	1.009	165.5	0.01	160A	21.77	146.7	0.15
17	100	11.79	110.3	0.11	110	0.980	165.5	0.01	70	21.73	146.7	0.15
18	30B	11.15	110.3	0.10	90B	0.940	165.5	0.01	100	20.80	146.7	0.14
19	140	10.55	110.3	0.10	100	0.896	165.5	0.01	120B	20.75	146.7	0.14
20	150B	10.30	110.3	0.09	80	0.830	165.5	0.01	120A	20.32	146.7	0.14
21	120B	9.618	110.3	0.09	140	0.793	165.5	0.00	140	19.33	146.7	0.13
22	120A	9.610	110.3	0.09	70	0.623	165.5	0.00	110	19.15	146.7	0.13
23	130	9.301	110.3	0.08	155	0.577	165.5	0.00	130	19.01	146.7	0.13
24	110	9.284	110.3	0.08	160A	0.256	165.5	0.00	150B	18.46	146.7	0.13
25	160B	7.384	110.3	0.07	160B	0.232	165.5	0.00	160B	10.24	146.7	0.07
26	170	5.867	110.3	0.05	170	0.014	165.5	0.00	170	5.869	146.7	0.04

Imagen 7: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 4-C30-10”

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 9-C30-4” y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 47%.

El valor del punto donde la línea 9 apoya sobre la viga transversal CD lo encontramos en el apartado “7.2.3.2. Cargas en los soportes” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Y también en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
9-C30-4	155	-4339	0	-4874	0	-4787	0	P6	Viga Transversal CD

Tabla 8: valores para los esfuerzos que transmite la línea 9-C30-4” en su apoyo

La carga que transmite la línea 9-C30-4” la viga transversal CD se han llamado P6y (carga).

Esta línea cuenta con un trunnion situado sosteniendo la estación de válvulas de control que hay en la línea. El valor sobre el trunnion lo podemos encontrar en el mismo apartado que el dato anterior, y también se va a incluir aquí estos datos.

Línea	Diámetro (pulgadas)	Nodo	Peso vacío			Sostenida + viento			Operando + viento		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)
9-C30-4	4	90A	-	-2511	-	-	-2659	-	-	-2728	-

Tabla 9: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4” en su trunnion

1.1.7. Línea simulada 10-A15-6"

La línea 10-A15-6" se ha simulado en el apartado "8. Simulación línea 10-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado "8.2.1. Análisis de tensiones" en la Imagen 143 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	30A	27.19	137.9	0.20	70B	10.73	206.8	0.05	30A	35.94	183.4	0.20
2	30B	18.27	137.9	0.13	70A	9.344	206.8	0.05	30B	30.02	183.4	0.16
3	10	18.15	137.9	0.13	30A	7.716	206.8	0.04	20	23.83	183.4	0.13
4	20	17.97	137.9	0.13	40B	6.432	206.8	0.03	10	23.64	183.4	0.13
5	80	15.36	137.9	0.11	30B	5.858	206.8	0.03	80	22.92	183.4	0.12
6	40B	10.03	137.9	0.07	40A	4.355	206.8	0.02	40B	21.72	183.4	0.12
7	90	9.589	137.9	0.07	20	4.332	206.8	0.02	40A	19.12	183.4	0.10
8	70B	7.025	137.9	0.05	10	4.108	206.8	0.02	90	16.12	183.4	0.09
9	50	6.381	137.9	0.05	90	2.804	206.8	0.01	50	11.70	183.4	0.06
10	70A	6.205	137.9	0.04	80	2.657	206.8	0.01	70B	9.826	183.4	0.05
11	60	6.078	137.9	0.04	50	2.269	206.8	0.01	60	9.661	183.4	0.05
12	40A	6.010	137.9	0.04	60	1.541	206.8	0.01	70A	9.125	183.4	0.05
13	100B	3.649	137.9	0.03	100A	0.832	206.8	0.00	100A	6.019	183.4	0.03
14	100A	3.469	137.9	0.03	100B	0.693	206.8	0.00	100B	5.712	183.4	0.03
15	110	3.022	137.9	0.02	110	0.034	206.8	0.00	110	3.107	183.4	0.02

Imagen 8: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 10-A15-6"

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 10-A15-6" y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 20%.

Esta línea se apoya en dos soportes, primero en la viga transversal CD como carga P8 y luego en el soporte corto W como carga P10.

Los valores que transmiten a los soporte donde se sustenta la línea, los podemos encontrar en el apartado "8.2.2. Carga en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". También se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
10-A15-6"	90	-1233	0	-1801	65	-2024	737	P8	Viga transversal CD
10-A15-6"	80	-1745	0	-2269	128	-1883	128	P10	Soporte corto W

Tabla 10: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6" en su apoyo

La carga que transmite la línea 10-A15-6" a la viga transversal CD se han llamado P8y (carga) y P8z (fricción), mientras que a las cargas que transmite al soporte corto W P10y (carga) y P10z (fricción).

1.1.8. Línea simulada 11-A15-6”

La línea 11-A15-6” se ha simulado en el apartado “9. Simulación línea 11-A15-6” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado “9.2.1. Análisis de tensiones” en la Imagen 16 del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”. Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	80A	25.03	137.3	0.18	40B	61.90	206.7	0.30	80A	34.01	182.6	0.19
2	160	21.74	137.3	0.16	30A	61.13	206.7	0.30	160	29.30	182.6	0.16
3	110B	16.15	137.3	0.12	40A	44.96	206.7	0.22	110B	29.17	182.6	0.16
4	70	15.66	137.3	0.11	10	32.36	206.7	0.16	110A	28.61	182.6	0.16
5	110A	14.56	137.3	0.11	30B	31.93	206.7	0.15	80B	25.53	182.6	0.14
6	150A	14.38	137.3	0.10	80A	29.10	206.7	0.14	70	21.08	182.6	0.12
7	80B	13.69	137.3	0.10	150A	23.93	206.7	0.12	120	19.15	182.6	0.10
8	60	13.40	137.3	0.10	150B	23.77	206.7	0.11	170	19.00	182.6	0.10
9	120	11.71	137.3	0.09	80B	20.73	206.7	0.10	100	18.97	182.6	0.10
10	150B	11.41	137.3	0.08	60	15.95	206.7	0.08	60	18.04	182.6	0.10
11	130	11.17	137.3	0.08	110B	15.19	206.7	0.07	150A	17.15	182.6	0.09
12	170	10.84	137.3	0.08	70	14.93	206.7	0.07	130	16.51	182.6	0.09
13	100	10.41	137.3	0.08	110A	12.64	206.7	0.06	90	16.38	182.6	0.09
14	40A	8.997	137.3	0.07	90	11.41	206.7	0.06	30B	16.14	182.6	0.09
15	30B	8.741	137.3	0.06	160	11.36	206.7	0.05	150B	15.13	182.6	0.08
16	90	8.694	137.3	0.06	100	9.860	206.7	0.05	10	15.02	182.6	0.08
17	10	8.258	137.3	0.06	120	9.410	206.7	0.05	30A	14.53	182.6	0.08
18	30A	7.891	137.3	0.06	130	7.434	206.7	0.04	40A	12.49	182.6	0.07
19	40B	6.618	137.3	0.05	170	7.185	206.7	0.03	180A	9.459	182.6	0.05
20	180A	6.611	137.3	0.05	180A	1.489	206.7	0.01	40B	8.935	182.6	0.05
21	180B	6.292	137.3	0.05	180B	0.670	206.7	0.00	180B	8.566	182.6	0.05
22	190	6.056	137.3	0.04	190	0.103	206.7	0.00	190	6.082	182.6	0.03

Imagen 9: captura del análisis de la

de pantalla de los resultados línea 11-A15-6”

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 4-C30-10” y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 30%.

Esta línea se sostiene en tres soportes, primero en la viga transversal CD como carga P7, luego en el soporte corto W como carga P9 y por último en el trunnion que sostiene la estación de válvulas de control. Los valores que transmiten a estos soporte donde se sustenta la línea, los podemos encontrar en el apartado “9.2.2. Carga en los soportes” del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe” y también se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
11-A15-6	170	-1054	0	-1840	0	-2607	782	P7	Viga transversal CD
11-A15-6	160	-2536	0	-3948	122	-1829	549	P9	Soporte corto W

Tabla 11: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6” en su apoyo

La carga que transmite la línea 11-A15-6” a la viga transversal CD se han llamado P7y (carga) y P7z (fricción), mientras que a las cargas que transmite al soporte corto W P9y e P9z.

Línea	Diámetro (pulgadas)	Nodo	Peso vacío			Sostenida + viento			Operando + viento		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)
9-C30-4	4	90A	-	-2511	-	-	-2659	-	-	-2728	-

Tabla 12: valores para los esfuerzos que transmite la línea 9-C30-4” en su trunnion

1.1.9. Línea simulada 14-A15-6"

La línea 14-A15-6" se ha simulado en el apartado "10. Simulación línea 14-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado "10.2.1. Análisis de tensiones" en la Imagen 188 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	$\frac{SL}{SH}$	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	$\frac{SE}{SA}$	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	$\frac{SL+SO}{SHO}$
1	60	16.33	137.9	0.12	10	13.33	206.8	0.06	70	22.54	183.4	0.12
2	70	15.69	137.9	0.11	15	12.19	206.8	0.06	60	20.32	183.4	0.11
3	40A	6.801	137.9	0.05	50B	9.424	206.8	0.05	10	12.88	183.4	0.07
4	40B	5.047	137.9	0.04	20	7.137	206.8	0.03	40A	12.79	183.4	0.07
5	30	4.861	137.9	0.04	30	6.092	206.8	0.03	50A	12.68	183.4	0.07
6	20	4.763	137.9	0.03	40A	4.998	206.8	0.02	15	12.49	183.4	0.07
7	50A	4.734	137.9	0.03	40B	4.936	206.8	0.02	40B	12.08	183.4	0.07
8	15	4.291	137.9	0.03	50A	4.836	206.8	0.02	20	11.34	183.4	0.06
9	10	4.269	137.9	0.03	60	2.801	206.8	0.01	30	11.14	183.4	0.06
10	50B	4.081	137.9	0.03	70	1.475	206.8	0.01	50B	10.69	183.4	0.06
11	80B	3.099	137.9	0.02	80A	0.236	206.8	0.00	80A	5.458	183.4	0.03
12	90	3.039	137.9	0.02	80B	0.154	206.8	0.00	80B	5.203	183.4	0.03
13	80A	3.023	137.9	0.02	90	0.014	206.8	0.00	90	3.096	183.4	0.02

Imagen 10: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 14-A15-6"

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 14-A15-6" y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 12%.

Esta línea se apoya en dos soportes, primero en la viga transversal AB como carga P3 y luego en el soporte largo Ñ como carga P13.

Los valores que transmiten a los soporte donde se sustenta la línea, los podemos encontrar en el apartado "10.2.2. Carga en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y también se muestran en la siguiente tabla:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
14-A15-6	70	-1832	0	-2405	154	-2516	1064	P3	Viga transversal AB
14-A15-6	60	-2023	0	-3225	0	-2612	784	P13	Soporte Largo Ñ

Tabla 13: valores para los esfuerzos que transmite la línea 14-A15-6" en su apoyo

La carga que transmite la línea 14-A15-6" a la viga transversal AB se han llamado P3y (carga) y P3z (fricción), mientras que a las cargas que transmite al soporte largo Ñ, P13y e P13z.

1.1.10. Línea simulada 15-A15-6"

La línea 15-A15-6" se ha simulado en el apartado "11. Simulación línea 15-A15-6"" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

El primer dato que verificaremos será el cumplimiento de la normativa ASME B31.3, esta comprobación la tenemos en el apartado "10.2.1. Análisis de tensiones" en la 206 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Esta imagen también se muestra a continuación.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	70	18.03	137.9	0.13	60A	13.70	206.8	0.07	80	28.95	183.4	0.16
2	80	15.06	137.9	0.11	60B	11.61	206.8	0.06	50A	28.88	183.4	0.16
3	60A	6.391	137.9	0.05	50B	9.552	206.8	0.05	50B	27.73	183.4	0.15
4	40A	6.145	137.9	0.04	40A	9.148	206.8	0.04	40B	25.27	183.4	0.14
5	10	5.631	137.9	0.04	50A	6.169	206.8	0.03	70	24.20	183.4	0.13
6	15	5.576	137.9	0.04	70	5.568	206.8	0.03	40A	22.30	183.4	0.12
7	20	5.073	137.9	0.04	40B	5.025	206.8	0.02	60A	14.29	183.4	0.08
8	30	5.031	137.9	0.04	10	5.017	206.8	0.02	30	13.98	183.4	0.08
9	50B	4.652	137.9	0.03	15	4.913	206.8	0.02	20	13.34	183.4	0.07
10	40B	4.460	137.9	0.03	30	4.701	206.8	0.02	15	10.94	183.4	0.06
11	50A	4.254	137.9	0.03	20	4.689	206.8	0.02	10	10.48	183.4	0.06
12	90A	3.548	137.9	0.03	80	2.649	206.8	0.01	60B	10.21	183.4	0.06
13	60B	3.444	137.9	0.02	90A	0.367	206.8	0.00	90A	7.495	183.4	0.04
14	100	3.091	137.9	0.02	90B	0.046	206.8	0.00	90B	6.248	183.4	0.03
15	90B	3.078	137.9	0.02	100	0.028	206.8	0.00	100	3.105	183.4	0.02

Imagen 11: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 14-A15-6"

Como se puede comprobar en las columnas cuarta (SL/SH), octava (SE/SA) y decimotercera (SL+SO/SHO), la comparativa entre los valores de la línea 14-A15-6" y los de la norma ASME B31.3 no supera en ningún caso el 16%.

Esta línea se sostiene en dos puntos, primero en la viga transversal AB como carga P2 y luego en el soporte largo Ñ como carga.

Los valores que transmiten a estos soporte donde se sustenta la línea, los podemos encontrar en el apartado "11.2.2. Carga en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y también se muestran en las siguientes tablas:

Línea	Nodo	Peso vacío		Sostenida + Viento		Operando + Viento		Nombre de la carga	Lugar de la carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)		
15-A15-6"	80	-1802	0	-2969	29	-2729	819	P2	Viga transversal AB
15-A15-6"	70	-2210	0	-2873	195	-4004	195	P11	Soporte Largo Ñ

Tabla 14: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6" en su apoyo

La carga que transmite la línea 15-A15-6" a la viga transversal AB se han llamado P2y (carga) y P2z (fricción), mientras que a las cargas que transmite al soporte largo Ñ, P11y e P11z.



2. Estructuras

En este apartado se va a demostrar como el dimensionamiento es correcto según el CTE-A.

2.1. Viga transversal AB

Para el dimensionamiento y verificación de la viga transversal AB, primero se han obtenido las diferentes cargas que hacen efecto sobre ella.

Sobre esta viga transversal apoyan 3 líneas de tuberías (7-C30-6", 15-A15-6" y 14-A15-6"). Las cargas que transmiten las líneas a la viga se han calculado y se encuentran todas en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

- Los resultados de la línea 7-C30-6" los podemos obtener en el apartado "12.2.2.2. Cargas en los soportes" más concretamente en la imagen 267 de dicho anejo.
- Los resultados de la línea 14-A15-6" los podemos encontrar en el apartado "10.2.2. Cargas en los soportes", más concretamente en la imagen 197 de dicho anejo.
- Los resultados de la línea 15-A15-6" los podemos encontrar en el apartado "11.2.2. Cargas en los soportes, más concretamente en la imagen 215 de dicho anejo.

Y ahora pasamos al anejo "Calculo estructural" donde se calculan las acciones permanentes, variables y accidentales.

Las acciones constantes para la viga transversal AB se encuentran en el apartado "1.1.1.1.2. Peso propio Viga transversal".

Las acciones variables para la viga transversal AB se calculan en diferentes apartados:

- Sobrecarga de uso → "1.1.2.2. Sobrecarga de uso"
- Nieve → "1.1.2.3.2.1. Viga transversal izquierda AB"
- Viento → "1.1.2.4.4.2. Resultado viento viga transversal izquierda AB"
- Área de influencia → "1.1.4.2.1. Área de influencia viga transversal izquierda AB"

Las acciones accidentales, por la situación geografía de la planta y su importancia, no son necesarias analizarlas, esto se encuentra recogido en el apartado "1.1.3. Acciones accidentales" del anejo "Cálculo estructural".

Con todos estos valores, ahora es necesario organizarlos y crear las hipótesis de cálculo más desfavorable para cada situación. Se han realizado varias hipótesis en estado limite ultimo y en estado límite de servicio. Las hipótesis más desfavorables en cada caso las encontramos:

- E.L.U. Viga transversal AB → "1.2.3.1.1. Hipótesis 1" anejo "Cálculo estructural", imagen 15.
- E.L.S. Viga transversal AB → "1.2.3.2.1. Hipótesis 1" anejo "Cálculo estructural", imagen 16.

Cada hipótesis de cálculo está representada en una imagen, y se encuentran todos los datos recogidos en la tabla 24 de dicho anejo.

Y con estas dos hipótesis se han realizado los cálculos para que cumpla con las limitaciones del código técnico CTE-A.



2.1.1. Viga transversal AB en Estado Limite Ultimo

Con la hipótesis de cálculo (“1.2.3.1.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 15), se ha realizado los cálculos analíticos necesarios. Tras esto, se ha decidido fabricar la viga transversal con un perfil HEB-140 en acero S-275 y se han realizado diferentes verificaciones para comprobar que este perfil cumpla sobradamente con las solicitaciones.

Comprobaciones realizadas:

- CTE SE-A apartado 6.2.6. “Resistencia de las secciones a flexión”.
- CTE SE-A apartado 6.2.8. “Interacción de esfuerzos en secciones”
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. “Elementos comprimidos y flectados”
- CTE SE-A apartado 6.1. “Generalidades”

Estas comprobaciones se encuentran en el anejo “Cálculo estructural”, desde el apartado “2.1.7. Dimensionamiento viga transversal AB” hasta el apartado “2.1.7.4. Comprobación a Von Mises”.

Tras todas estas comprobaciones, podemos afirmar, que el perfil HEB-140 en acero S-275 cumple con las limitaciones tensionales en estado limite ultimo.

2.1.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio

Con la hipótesis de cálculo (“1.2.3.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 16) creada para esta situación, tenemos que comprobar que la deformación en la viga transversal AB no supere el límite establecido de 1/1000 fijado por promotor.

Para ello realizamos los cálculos necesarios, y obtenemos la deformación total de la viga transversal AB en el apartado “2.2.3. Deformaciones en la viga transversal AB en ELS” con una flecha máxima de 2,38mm en los 6100mm de largo que tiene la viga.

Para confirmar que las cuentas analíticas sean correctas, se ha simulado la viga en estado límite de servicio mediante inventor, y los resultados se encuentran en el apartado “12.1. Viga transversal AB”

Realizadas estas dos comprobaciones, conforme con el CTE SE-A, queda demostrado que el perfil HEB-140 en Acero S-275 es adecuado para la viga transversal AB.

No existen planos de fabricación de la viga transversal AB aportados por el promotor; más de lo que se puede intuir en las imágenes 3 y 4 del anejo “Datos de partida”.

Tras la digitalización se han creado unos planos de las estructuras, y la viga trasversal AB se ha incluido en el plano “Plano ESTR_01”, del anejo planos.

Para que las hipótesis de cálculo y los resultados quedasen de una forma mucho más clara, se han creado unos planos de cálculo. El perteneciente a la viga transversal AB es el “Plano_CALC_02” del anejo “Planos”.



2.2. Viga transversal CD

Para el dimensionamiento y verificación de la viga transversal CD, primero se han obtenido las diferentes cargas que hacen efecto sobre ella.

Sobre esta viga transversal apoyan 5 líneas de tuberías (7-C30-4", 1-C30-8", 9-C30-4", 11-A15-6" y 10-A15-6"). Las cargas que transmiten las líneas a la viga se han calculado y se encuentran todas en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los resultados de la línea 7-C30-4" los podemos obtener en el apartado "12.1.2.2. Cargas en los soportes" más concretamente en la imagen 242 de dicho anejo.

Los resultados de la línea 1-C30-8" los podemos encontrar en el apartado "4.2.4. Support load summary", en la imagen 37 de dicho anejo.

Los resultados de la línea 9-C30-4" los podemos encontrar en el apartado "7.2.3.2. Cargas en los soportes, más concretamente en la imagen 131 de dicho anejo.

Los resultados de la línea 11-A15-6" los podemos encontrar en el apartado "9.2.2. Cargas en los soportes, en la imagen 176 de dicho anejo.

Los resultados de la línea 10-A15-6" los podemos encontrar en el apartado "8.2.2. Cargas en los soportes, en la imagen 151 de dicho anejo.

Y ahora pasamos al anejo "Calculo estructural" donde se calculan las acciones permanentes, variables y accidentales.

Las acciones constantes para la viga transversal CD se encuentran en el apartado "1.1.1.1.2. Peso propio Viga transversal".

Las acciones variables para la viga transversal AB se calculan en diferentes apartados:

- Sobrecarga de uso → "1.1.2.2. Sobrecarga de uso"
- Nieve → "1.1.2.3.2.2. Viga transversal derecha CD"
- Viento → "1.1.2.4.4.3. Resultado viento viga transversal derecha CD"
- Área de influencia → "1.1.4.2.2. Área de influencia viga transversal derecha CD"

Las acciones accidentales, por la situación geografía de la planta y su importancia, no son necesarias analizarlas, esto se encuentra recogido en el apartado "1.1.3. Acciones accidentales" del anejo "Cálculo estructural".

Con todos estos valores, ahora es necesario organizarlos y crear las hipótesis de cálculo más desfavorable para cada situación. Se han realizado varias hipótesis en estado limite ultimo y en estado límite de servicio. Las hipótesis más desfavorables en cada caso las encontramos:

- E.L.U. Viga transversal AB → "1.2.4.1.1. Hipótesis 1" anejo "Cálculo estructural", imagen 17.
- E.L.S. Viga transversal AB → "1.2.4.2.1. Hipótesis 1" anejo "Cálculo estructural", imagen 18.

Cada hipótesis de cálculo está representada en una imagen, y se encuentran todos los datos recogidos en la tabla 27 de dicho anejo.

Y con estas dos hipótesis se han realizado los cálculos para que cumpla con las limitaciones del código técnico CTE-A.



2.2.1. Viga transversal CD en Estado Limite Ultimo

Con la hipótesis de cálculo (“1.2.4.1.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 17), se ha realizado los cálculos analíticos necesarios. Tras esto, se ha decidido fabricar la viga transversal con un perfil HEB-140 en acero S-275 y se han realizado diferentes verificaciones para comprobar que este perfil cumpla sobradamente con las solicitaciones.

Comprobaciones realizadas:

- CTE SE-A apartado 6.2.6. “Resistencia de las secciones a flexión”.
- CTE SE-A apartado 6.2.8. “Interacción de esfuerzos en secciones”
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. “Elementos comprimidos y flectados”
- CTE SE-A apartado 6.1. “Generalidades”

Estas comprobaciones se encuentran en el anejo “Cálculo estructural”, desde el apartado “3.1.7. Dimensionamiento viga transversal CD” hasta el apartado “3.1.7.4. Comprobación a Von Mises”.

Tras todas estas comprobaciones, podemos afirmar, que el perfil HEB-140 en acero S-275 cumple con las limitaciones tensionales en estado limite ultimo.

2.2.2. Viga transversal AB en Estado Limite de Servicio

Con la hipótesis de cálculo (“1.2.4.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 18) creada para esta situación, tenemos que comprobar que la deformación en la viga transversal CD no supere el límite establecido de 1/1000 fijado por promotor.

Para ello realizamos los cálculos necesarios, y obtenemos la deformación total de la viga transversal CD en el apartado “3.2.3. Deformaciones en la viga transversal CD en ELS” con una flecha máxima de 3,60mm en los 6100mm de largo que tiene la viga.

Se ha realizado un análisis digital para verificar que los cálculos sean correctos, y al realizar la simulación únicamente de la viga transversal CD, la deformación sale casi idéntica, como se puede ver en el apartado “12.2.1. Resultados viga transversal CD”. Pero en la simulación de la estructura Rack completa del apartado “12.6. Estructura Rack completa”, la viga transversal CD, llega a una deformación de 5,53mm, que aun así, esta dentro del 1/1000 que teníamos como restricción.

Realizadas estas dos comprobaciones, conforme con el CTE SE-A, queda demostrado que el perfil HEB-140 en Acero S-275 es adecuado para la viga transversal CD, manteniendo homogeneidad con el resto de las vigas transversales o portantes de la estructura rack.

No existen planos de fabricación de la viga transversal CD aportados por el promotor; más de lo que se puede intuir en las imágenes 3 y 4 del anejo “Datos de partida”.

Tras la digitalización se han creado unos planos de las estructuras, y la viga trasversal CD se ha incluido en el plano “Plano ESTR_01”, del anejo planos.

Para que las hipótesis de cálculo y los resultados quedasen de una forma mucho más clara, se han creado unos planos de cálculo. El perteneciente a la viga transversal CD es el “Plano_CALC_03” del anejo “Planos”.



2.3. Pórticos del rack

Para el dimensionamiento y verificación de los pórticos del rack, primero es necesario calcular los esfuerzos que transmiten las vigas transversales que los rigidizan y que estas transmiten a los pilares. Con estos valores, y el valor de las acciones y peso de las tuberías sobre el dintel, se puede dimensionar correctamente los pórticos del rack.

Los valores que transmiten las vigas transversales a los pilares se muestran en los apartados 2.1.5., y 3.1.5. “Resultados totales” del anejo “Cálculo estructural”, siendo los resultados en el empotramiento.

Para que los cálculos analíticos no se compliquen en exceso, se ha comenzado calculando los esfuerzos que generan las tuberías y acciones encima del dintel. Con los valores que el pórtico transmite a los pilares y añadiendo las cargas de las vigas transversales, se calculan los pilares.

2.3.1. Dintel

Para el dimensionamiento del dintel, primero se ha calculado su peso propio como acción constate, se encuentra en el apartado “1.1.1.1.1. Peso propio pórtico” del anejo, “Cálculo estructural”.

Después de esto se han calculado las acciones variables. La primera ha sido el peso de las tuberías sobre los pórticos, para ello, se han tomado las tuberías llenas de agua y se han multiplicado por el área de influencia sobre cada pórtico. Esto se puede encontrar en el apartado “1.1.2.1.1. Peso de las tuberías sobre los pórticos” del anejo “Cálculo estructural”.

El resto de las acciones variables, se hallan:

- Sobrecarga de uso → “1.1.2.2. Sobrecarga de uso”
- Nieve → “1.1.2.3.1. Nieve sobre los pórticos”
- Viento → “1.1.2.4.4.1. Resultado viento dintel”
- Área de influencia → “1.1.4.1. Área de influencia sobre los pórticos”

Las acciones accidentales no se calculan según lo que se recoge en el apartado “1.1.3. Acciones accidentales” del anejo “Cálculo estructural”.

Ahora con los valores de todas las acciones, es necesario ordenarlas para crear las hipótesis más desfavorables en estado límite último y en estado límite de servicio. Estas hipótesis sobre los pórticos se encuentran:

- E.L.U Pórticos → “1.2.2.1.3. Hipótesis 3” anejo “Cálculo estructural” imagen 13.
- E.L.S. Pórticos → “1.2.2.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural” imagen 14.

Cada hipótesis de cálculo está representada en una imagen como se indica, y los resultados se encuentran en la tabla 22 del mismo anejo.



2.3.1.1. Dintel en Estado Limite Ultimo

Se han calculado los resultados de la Hipótesis de cálculo (“1.2.2.1.3. Hipótesis 3” anejo “Cálculo estructural” imagen 13) de manera analítica. Se ha calculado mediante el método de Cross que se encuentran en el apartado “4.1. Pórtico tipo en Estado Limite Ultimo” del anejo “Calculo estructural”.

Con los resultados, se han realizado las comprobaciones que indica el código técnico, y se ha elegido fabricar el elemento con un perfil HEB-220 en acero S-2785. Las comprobaciones que se han realizado son:

- CTE SE-A apartado 6.2.6. “Resistencia de las secciones a flexión”. Se encuentra en el apartado “4.1.1. Dimensionamiento del dintel” del anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.2.8. “Interacción de esfuerzos en secciones”. Se encuentra en el apartado “4.1.1.1. Verificación de sección” del anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. “Elementos comprimidos y flectados”. Se encuentra en el apartado “4.1.1.2. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas” del anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.1. “Generalidades”. Se encuentra en el apartado “4.1.1.3. Comprobación a Von Mises” del anejo “Cálculo estructural”.

Todas estas comprobaciones demuestran que el perfil HEB-220 en acero S-275 es una elección correcta, estando siempre muy lejos de su límite.

2.3.1.2. Dintel en Estado Limite de Servicio

Se han calculado los resultados de la Hipótesis de cálculo (“1.2.2.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural” imagen 14) de forma analítica y se puede encontrar en el apartado “4.2. Pórtico estado límite de servicio ELS” del anejo “Cálculo estructural”.

Estas cuentas se hacen con el objetivo de calcular la deformación sufrida en el dintel por las tuberías y las acciones en ELS para el perfil HEB-2520 acero S-275. Como se demuestra en el apartado “4.2.1 Deformaciones dintel” del anejo “Cálculo estructural”, la deformación máxima sufrida es de 1,86mm en el centro del dintel.

Para comprobar que este resultado fuese correcto, se realizó un análisis en Inventor de un pórtico individual, que se puede encontrar en el apartado “12.3. Pórtico” donde coincide la deformación completamente. Y en el apartado “12.6. Estructura Rack completa” la deformación se aproxima bastante al resultado analítico.

Como 1,86mm dentro de los 4877mm que mide el dintel, la deformación está dentro del límite de 1/1000 establecido para el proyecto.

Por lo que con estos datos, junto con los obtenidos en el estado limite último, demuestran que el perfil HEB-220 en acero S-275 es adecuado para el dintel (La demostración para los pilares viene a continuación).

El plano de fabricación aportado por el promotor lo podemos encontrar en el apartado “5. Planos rack y soportes” del anejo “Datos de partida” con muy poquita información.



También podemos encontrar los planos de cálculo diseñados para un mejor entendimiento de los resultados en el plano “Plano_CALC_01” del anejo planos, y el plano con todos los datos de fabricación y lista de materiales en el plano “Plano ESTR_01” también en el anejo “Planos”.

2.3.2. Pilar HI

Con los datos obtenidos del cálculo del pórtico y del cálculo de la viga transversal AB, se puede comprobar si el pilar HI cumple con las limitaciones impuestas en el CTE SE-A para ser fabricado en un perfil HEB-220 y acero S-275.

Con los datos del empotramiento de la viga transversal AB (“2.1.5 Resultados totales” del anejo “Cálculo estructural”) y los resultados del cálculo del pórtico (“4.1. Pórtico tipo ELU” anejo “Cálculo estructural”) se va a calcular el pilar HI en estado limite ultimo para comprobar que cumple perfectamente. Los cálculos se encuentran en el apartado “5. Pilar HI” del anejo “Cálculo estructural”

Las comprobaciones que se realizan son:

- CTE SE-A apartado 6.2.8. “Interacción de esfuerzos en secciones”. Se encuentra en el apartado “5.2.1. Comprobación de sección” del anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. “Elementos comprimidos y flectados”. Se encuentra en el apartado “5.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas”, anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.1. “Generalidades”. Se encuentra en el apartado “5.2.4. Verificación a Von Mises” del anejo “Cálculo estructural”.

Con estas comprobaciones cumplidas con mucho margen, se demuestra que el pilar HI se puede fabricar con un perfil HEB-220 y acero S-275.

El plano de fabricación aportado por el promotor lo podemos encontrar en el apartado “5. Planos rack y soportes” del anejo “Datos de partida”.

El plano de fabricación con los datos del pilar se encuentra en el plano “Plano ESTR_01” del anejo “Planos”. Para facilitar la comprensión de los cálculos y como se juntan, se ha creado un plano con los datos de partida y el resultado de los cálculos. Este plano es el “Plano_CALC_04” y se encuentra en el anejo “Planos”.

2.3.3. Pilar MN

Con los datos obtenidos del cálculo del pórtico y de los cálculos de las 2 vigas transversales, se puede comprobar si el pilar MN cumple con las limitaciones impuestas en el CTE SE-A para ser fabricado en un perfil HEB-220 y acero S-275.

Con los datos del empotramiento derecho de la viga transversal AB (“2.1.5 Resultados totales” del anejo “Cálculo estructural”), los valores del empotramiento izquierdo de la viga transversal CD (“3.1.5. Resultados totales” del anejo “Cálculo estructural”) y los resultados del cálculo del pórtico (“4.1. Pórtico tipo ELU” anejo “Cálculo estructural”) se va a calcular el pilar MN en estado limite ultimo para comprobar que cumple perfectamente. Los cálculos se encuentran en el apartado “6. Pilar MN” del anejo “Cálculo estructural”

Las comprobaciones que se realizan son:



- CTE SE-A apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones". Se encuentra en el apartado "6.2.1. Comprobación de sección" del anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados". Se encuentra en el apartado "6.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas", anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.1. "Generalidades". Se encuentra en el apartado "6.2.4. Verificación a Von Mises" del anejo "Cálculo estructural".

Con estas comprobaciones cumplidas con mucho margen, se demuestra que el pilar MN se puede fabricar con un perfil HEB-220 y acero S-275.

El plano de fabricación aportado por el promotor lo podemos encontrar en el apartado "5. Planos rack y soportes" del anejo "Datos de partida".

El plano de fabricación con los datos del pilar se encuentra en el plano "Plano ESTR_01" del anejo "Planos". Para facilitar la comprensión de los cálculos y como se juntan, se ha creado un plano con los datos de partida y el resultado de los cálculos. Este plano es el "Plano_CALC_05" y se encuentra en el anejo "Planos".

2.3.4. Pilar UV

Con los datos obtenidos del cálculo del pórtico y del cálculo de la viga transversal CD, se puede comprobar si el pilar UV cumple con las limitaciones impuestas en el CTE SE-A para ser fabricado en un perfil HEB-220 y acero S-275.

Con los datos del empotramiento de la viga transversal CD ("3.1.5. Resultados totales" del anejo "Cálculo estructural") y los resultados del cálculo del pórtico ("4.1. Pórtico tipo ELU" anejo "Cálculo estructural") se va a calcular el pilar UV en estado límite último para comprobar que cumple perfectamente. Los cálculos se encuentran en el apartado "7. Pilar UV" del anejo "Cálculo estructural".

Las comprobaciones que se realizan son:

- CTE SE-A apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones". Se encuentra en el apartado "7.2.1. Comprobación de sección" del anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados". Se encuentra en el apartado "7.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas", anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.1. "Generalidades". Se encuentra en el apartado "7.2.4. Verificación a Von Mises" del anejo "Cálculo estructural".

Con estas comprobaciones cumplidas con mucho margen, se demuestra que el pilar UV se puede fabricar con un perfil HEB-220 y acero S-275.

El plano de fabricación aportado por el promotor lo podemos encontrar en el apartado "5. Planos rack y soportes" del anejo "Datos de partida".

El plano de fabricación con los datos del pilar se encuentra en el plano "Plano ESTR_01" del anejo "Planos". Para facilitar la comprensión de los cálculos y como se juntan, se ha creado un plano con



los datos de partida y el resultado de los calculaos. Este plano es el “Plano_CALC_06” y se encuentra en el anejo “Planos”.

2.3.5. Placa de anclaje pilares del Rack.

Con los valores que transmiten los pilares al terreno y con las medidas de los cimientos donde se van a conectar los pilares, dimensionamos las placas de anclaje. Todas las placas de anclaje de los pilares del rack serán igual, y se dimensionarán con el valor en el empotramiento más alto que haya, este valor lo genera el pilar UV. Como se demuestra en el apartado “11.1. Placa de anclaje de los pilares del Rack” del anejo “Cálculo estructural”, serviría con una placa de 357,2x357,2x20mm con cuatro anclajes rectos de 300mm y 18mm de diámetro. Estas dimensiones se encuentran en el plano “Plano ESTR_01” del anejo “Planos”.

2.4. Soporte corto W

Para el dimensionamiento del soporte corto W, primero se han simulado las dos tuberías que sostiene (10-A15-6” y 11-A15-6”) en CaePipe. Estos análisis nos ayudan obtener las cargas que las tuberías transmiten al soporte.

La línea 10-A15-6” se simula en el apartado “8. Simulación línea 10-A15-6”” y la carga que transmite al soporte se encuentra en el apartado “8.2.2. Cargas en los soportes”, imagen 150 del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

La línea 11-A15-6” se simula en el apartado “9. Simulación línea 11-A15-6”” y la carga que transmite al soporte se encuentra en el apartado “9.2.2. Cargas en los soportes”, imagen 175 del anejo “Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe”.

Ahora que ya tenemos los valores que las tuberías transmiten, es el momento de calcular las acciones sobre la viga horizontal del soporte. Todas estas acciones se calculan en el anejo “Cálculo estructural”.

- Peso propio → “1.1.1.1.3. Peso propio soporte corto W”
- Sobrecarga de uso → “1.1.2.2. Sobrecarga de uso”
- Nieve → “1.1.2.3.3.1. Nieve sobre soporte corto W”
- Viento → “1.1.2.4.4.4. Resultado soporte corto W”
- Área de influencia → “1.1.4.3.1. Área de influencia del soporte corto W”

Con todas las acciones calculadas, realizamos la hipótesis de cálculo para el estado limite ultimo y para el estado límite de servicio. Estas combinaciones se realizan en el apartado “1.2.5. Combinación de acciones sobre soporte corto W” del anejo “Cálculo estructural”.

- E.L.U. soporte corto W → “1.2.5.1.1. Hipótesis 1”, anejo “Cálculo estructural”, imagen 19.
- E.L.S. soporte corto W → “1.2.5.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 20.

Ahora con las hipótesis de cálculo creadas, es el momento de resolver el problema. La resolución se encuentra en el apartado “8. Soporte corto W” del anejo “Cálculo estructural”.



2.4.1. Soporte corto W en estado Limite Ultimo

Con la hipótesis de cálculo descrita ("1.2.5.1.1. Hipótesis 1", anejo "Cálculo estructural", imagen 19), realizamos el análisis analítico y con los datos obtenidos decidimos fabricar el soporte completamente en perfiles HEB-160 en acero S-275. Para comprobar que la elección del perfil es correcta, tiene que cumplir las restricciones impuestas en el CTE SE-A.

Las comprobaciones realizadas son:

- CTE SE-A apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones". Se encuentra en el apartado "8.1.3. Verificación a sección" del anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados". Se encuentra en el apartado "8.1.4. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas", anejo "Cálculo estructural".
- CTE SE-A apartado 6.1. "Generalidades". Se encuentra en el apartado "8.1.5. Comprobación a Von Mises" del anejo "Cálculo estructural".

2.4.2. Soporte corto W en Estado Limite de Servicio

Con la hipótesis de cálculo ("1.2.5.2.1. Hipótesis 1" anejo "Cálculo estructural", imagen 20), realizamos los cálculos necesarios, para obtener la deformación en nuestro soporte, que es por lo que se estudia este estado de carga.

En el soporte, más que una deformación debida a una flexión es una desplazamiento, debido al giro que se realiza el pilar. Esto se encuentra recogido en el apartado "8.2. Cálculos soporte corto W en ELS" del anejo "Cálculo estructural". Aquí se encuentra la demostración de que el soporte gira 0,085 radianes (0, 489o), generando un desplazamiento horizontal en el extremo oeste del soporte de 3,25mm.

En este caso, la limitación de giro viene definida en el CTE SE-A y no puede ser mayor de 0,015 radianes, de ser superior, habría que rigidizar el elemento. Pero para nuestro caso, cumple perfectamente. La deformación generada, es aceptable, ya que en el punto donde se encuentran las tuberías, esta deformación ronda los 2mm

2.4.3. Placa de anclaje del soporte corto W

Con los resultados obtenidos en el empotramiento (apartado "9.1.1. Resultados soporte corto W en ELU"), se ha realizado un análisis para calcular el tamaño necesario de la placa de anclaje.

Este análisis se ha realizado en el apartado "11.2. Placa de anclaje soporte corto W", del anejo "Cálculo estructural". En este apartado se dimensiona una placa de anclaje para el soporte corto. Esta placa de anclaje tendrá unas medidas de 315,6x315,6x20mm con cuatro anclajes rectos de 270mm y diámetro 18mm. El plano de fabricación de la placa se encuentra en el plano "Plano ESTR_02", del anejo "Planos".



2.4.4. Conclusiones soporte corto W

Es necesario girar el pilar y aumentar los cimientos.

Con los cálculos realizados en el soporte corto W y sus resultados, nos indica que sería muy beneficioso para la estructura y su aprovechamiento, el girar el perfil del pilar respecto al plano aportado por los promotores (se encuentra en el apartado "5. Planos rack y soportes" del anejo "Datos de partida"). En los planos de cálculo, el pilar está de forma inicial, los planos de cálculo los encontramos en el plano "Plano_CALC_07" anejo "Planos", mientras que en el plano creado para su fabricación, "Plano ESTR_02", el pilar ya se muestra girado y en su posición final.

Para que la placa de anclaje trabaje correctamente y no de fallos en el cimiento, debe tener un margen de al menos 5cm por cada lado. Tras el análisis y dimensionamiento de la placa de anclaje, para que esta trabaje correctamente sobre el cimiento creado, este debe aumentarse respecto a lo planteado por la promotora (apartado "5. Planos rack y soportes" del anejo "Datos de partida"), en 60mm por cada lado. En el plano de fabricación, aparece el cimiento con sus dimensiones finales (adecuadas) (plano "Plano ESTR_02", anejo "Planos").

2.5. Soporte largo Ñ

Sobre el soporte largo Ñ, se apoyan 4 líneas de tuberías (15-A15-6", 5-C30-8", 14-A15-6" y 4-C30-10"), estas líneas se han simulado en CaePipe para obtener la carga que transmite cada una al soporte largo Ñ. todas estas líneas se encuentran simuladas en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe"

La línea 15-A15-6" se simula en el apartado "11. Simulación línea 15-aA15-6"" y los valores que transmite al soporte largo Ñ se encuentran en el apartado 11.2.2. Cargas en los soportes" más concretamente en la imagen 214.

La línea 5-C30-8" se simula en el apartado "6. Simulación línea 5-C30-8"" y los valores que transmite al soporte largo Ñ se encuentran en el apartado "6.2.2. Cargas sobre los soportes", imagen 104.

La línea 14-A15-6" se simula en el apartado "10. Simulación línea 14-A15-6"" y los valores que transmite al soporte largo Ñ se encuentran en el apartado "10.2.2. Cargas sobre los soportes", imagen 196.

La línea 4-C30-10" se simula en el apartado "5. Simulación línea 4-C30-10"" y los valores que transmite al soporte largo Ñ se encuentran en el apartado "5.2.2. Cargas sobre los soportes", imagen 81.

Ahora que ya tenemos los valores que transmiten las líneas al soporte largo Ñ, nos falta calcular las acciones que intervienen en el soporte. Se comienza con las acciones contantes, esto es el peso propio, que se encuentra en el apartado "1.1.1.1.4. peso propio soporte largo Ñ" del anejo "Cálculo estructural".

Las acciones variables son:

- Sobrecarga de uso → "1.1.2.2. Sobrecarga de uso"
- Nieve → "1.1.2.3.3.2. Nieve sobre soporte largo Ñ"
- Viento → "1.1.2.4.4.5. Resultado soporte largo Ñ"
- Área de influencia → "1.1.4.3.2. Área de influencia del soporte largo Ñ"



Con todas las acciones calculadas, es hora de juntarlas y obtener las hipótesis de cálculo. Estas se estudian en el apartado “1.2.6. Combinación de acciones sobre el soporte largo Ñ”, del anejo “Cálculo estructural”. En este apartado se realizará un estudio en estado limite ultimo y otro en estado límite de servicio:

- E.L.U. soporte largo Ñ → “1.2.6.1.1. Hipótesis 1”, anejo “Cálculo estructural”, imagen 22.
- E.L.S. soporte largo Ñ → “1.2.5.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 23.

Ahora con las hipótesis creadas, es el momento de calcular.

2.5.1. Soporte largo Ñ en Estado Limite Ultimo

Con la hipótesis de cálculo descrita (“1.2.6.1.1. Hipótesis 1”, anejo “Cálculo estructural”, imagen 22), realizamos el análisis analítico del soporte largo Ñ; y con los datos obtenidos decidimos fabricar el soporte en perfiles HEM-240 de acero S-275. Para comprobar que la elección del perfil es correcta, tiene que cumplir las restricciones impuestas en el CTE SE-A.

Las comprobaciones realizadas son:

- CTE SE-A apartado 6.2.8. “Interacción de esfuerzos en secciones”. Se encuentra en el apartado “9.1.3. Verificación a sección” del anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.3.4.2. “Elementos comprimidos y flectados”. Se encuentra en el apartado “9.1.4. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas”, anejo “Cálculo estructural”.
- CTE SE-A apartado 6.1. “Generalidades”. Se encuentra en el apartado “9.1.5. Comprobación a Von Mises” del anejo “Cálculo estructural”.

2.5.2. Soporte largo Ñ en Estado Limite de Servicio

Con la hipótesis de cálculo (“1.2.6.2.1. Hipótesis 1” anejo “Cálculo estructural”, imagen 23), realizamos los cálculos necesarios, para obtener la deformación en nuestro soporte, que es por lo que se estudia este estado de carga.

En el soporte, más que una deformación debida a una flexión es un desplazamiento, debido al giro que se realiza el pilar. Esto se encuentra recogido en el apartado “9.2.1. Verificación a deformación” del anejo “Cálculo estructural”. En este apartado, se encuentra una comparativa entre los perfiles HEB-260, HEB-300, HEB-400 y HEM-240 y el giro que provoca en el soporte los diferentes perfiles. Debido a que nuestra restricción impone un giro máximo de 0,015 radianes, el único perfil que cumple esta limitación es el perfil HEM-240.

Con esta comprobación, junto con las realizadas en el soporte en ELU, queda demostrado, la idoneidad del perfil HEM-240 en acero S-275 para nuestro soporte. Generando un giro de 0,093 Rad (0,53°) que realiza un desplazamiento en el extremo Este del soporte de 7 mm.



2.5.3. Placa de anclaje del soporte largo Ñ

Tras realizar los cálculos del soporte, obtenemos el valor en el empotramiento y calculamos la placa de anclaje. Esto se ha realizado en el apartado "11.3. Placa de anclaje soporte largo Ñ" del anejo "Cálculo estructural". En este apartado se dimensiona una placa de anclaje para el soporte largo de 390x390x20mm con 4 anclajes de 18mm de diámetro y 300mm de prolongación recta. El plano de fabricación se puede encontrar en el plano "Plano ESTR_03" del anejo "Planos".

2.5.4. Conclusiones soporte largo Ñ

Es necesario girar el perfil del pilar y aumentar el tamaño del cimiento.

Tras los cálculos realizados y los resultados obtenidos, se ha tomado la decisión de girar el pilar del soporte largo Ñ respecto del plano de fabricación aportado por el promotor que se encuentran en el apartado "5. Planos rack y soportes" del anejo "Datos de partida". Los planos de cálculo, se encuentra el pilar de forma primitiva ("Plano_CALC_08" anejo "Planos"), mientras que en el plano de fabricación ("Plano ESTR_03", anejo "Planos"), ya se encuentra en su posición correcta.

Para que los cimientos donde se anclara el soporte no sufran, es necesario ampliarlos para mantener un margen de 50mm entre del final del cimiento y la placa de anclaje. Debido al gran perfil que utiliza el soporte largo Ñ, es necesario aumentar la placa de anclaje y con el cimiento.

El cimiento es necesario aumentarlo 134,4 mm por cada lado, llegando a las medidas que se muestran en el plano "Plano ESTR_03" del anejo "Planos".

3. Bombas P-101 A & P-101 B

La instalación de las bombas debe cumplir con la normativa API-610. Esta norma nos indica, que una bomba como la que nosotros instalamos en nuestra unidad puede ser instalada con hasta 1,8 de la norma. Para poderla verificar, es necesario obtener los valores que le transmiten las líneas 6-C30-10" y 7-C30-6" a las toberas de succión y descarga de las bombas.

Una vez tengamos estos valores, habrá que simular las bombas mediante CaePipe y analizar los resultados.

En primer lugar se toman los datos de las líneas creadas según la documentación aportada por la promotora (Anejo "Datos de partida"). La simulación de la línea 6-C30-10" original (sin soportes) se encuentra en el apartado "13.1.2.2. Cargas en los soportes" en la imágenes 288 y 289 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Mientras que la simulación de la línea 7-C30-6" no varía, y se encuentra en el apartado "12.2.2.2. Cargas en los soportes" imágenes 265 y 266 del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Con estos valores procedemos en CaePipe a simular las bombas. Esto se encuentra en el apartado "14.2. Caso A" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Y como se muestra en la imagen 308 y 311, los valores del momento respecto Y en la tobera de succión son superiores a 4. Por lo que NO cumple ni de lejos con la normativa que solo permite llegar hasta 1,8. Por lo que es necesario realizar algún cambio.



El cambio que se lleva a cabo es la instalación de unos soportes en el codo antes de la conexión entre la 6-C308” y las toberas de succión de las bombas. Estos soportes los podemos encontrar en el plano “Plano_ESTR_04”.

Para comprobar que ahora las bombas cumplan con la normativa API-610, se vuelve a simular la línea 6-C30-10” con los soportes. Esta simulación la encontramos en el apartado 13.2. Simulación 6-C30-10” RESOLUTIVO”, y es en el apartado “13.2.1.2. Cargas en los soportes”, imágenes 296 y 297 donde encontramos los nuevos valores de las toberas de succión de las bombas.

Con estos valores, volvemos a analizar las bombas, apartado “14.3. Caso B” y ahora sí, obtenemos la verificación API-610 para nuestras bombas, como se puede ver en las imágenes 314 y 317 donde ningún valor supera el 0,7; muy lejos del 1,8 que pone como limite la norma.

Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

4. Anejo:

Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe



4. Anejo: Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe

1.	Que es CaePipe	4
2.	Como funciona CaePipe.....	4
3.	Como diseñar en CaePipe.....	4
3.1.	Opciones de diseño	5
3.2.	Casos de carga	6
3.3.	Declarar materiales	8
3.4.	Declarar sección.....	9
3.5.	Declarar cargas del entorno	9
3.6.	Introducción del modelo	10
4.	Simulación explicada de la Línea 1-C30-8"	11
4.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	11
4.2.	Resultados de la línea según CaePipe.....	19
4.2.1.	Sorted stresses.....	19
4.2.2.	Code Compliance	23
4.2.3.	Flange report.....	23
4.2.4.	Support load summary	23
4.2.5.	Support load summary	25
4.2.6.	Element forces	25
4.2.7.	Displacements.....	27
4.2.8.	Frecuencias.....	29
4.2.9.	Mode Shapes	30
5.	Simulación línea 4-C30-10"	32
5.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	32
5.2.	Resultados del modelo	35
5.2.1.	Análisis de tensiones	35
5.2.2.	Cargas sobre los soportes.....	38
5.2.3.	Desplazamientos.....	39
5.2.4.	Frecuencias	40
6.	Simulación línea 5-C30-8"	41
6.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	41
6.2.	Resultados del modelo	43
6.2.1.	Tensiones	43
6.2.2.	Cargas en los soportes.....	46



6.2.3.	Desplazamientos.....	47
6.2.4.	Frecuencias	48
7.	Simulación línea 9-C30-4"	49
7.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	49
7.2.	Resultados del modelo	53
7.2.1.	Comparativa entre los modelos.....	53
7.2.3.	Resultados del modelo 9-C30-4".....	55
8.	Simulación línea 10-A15-6"	58
8.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	58
8.2.	Resultados del modelo	611
8.2.1.	Tensiones	61
8.2.2.	Cargas en los soportes.....	63
8.2.3.	Desplazamientos.....	64
8.2.4.	Frecuencias	66
9.	Simulación línea 11-A15-6"	66
9.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	66
9.2.	Resultados del modelo	66
9.2.1.	Tensiones	69
9.2.2.	Cargas en los soportes.....	71
9.2.3.	Desplazamientos.....	73
9.2.4.	Frecuencias	74
10.	Simulación línea 14-A15-6"	75
10.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	75
10.2.	Resultados del modelo	77
10.2.1.	Tensiones	77
10.2.2.	Cargas en los soportes.....	79
10.2.3.	Desplazamientos.....	80
10.2.4.	Frecuencias	82
11.	Simulación línea 15-A15-6"	82
11.1.	Modelado de la línea en CaePipe.....	82
11.2.	Resultados del modelo	83
11.2.1.	Tensiones	83
11.2.2.	Cargas en los soportes.....	86
11.2.3.	Desplazamientos.....	87
11.2.4.	Frecuencias	88
12.	Simulación línea 7-C30-X"	89



12.1.	Simulación línea 7-C30-4"	89
12.1.1.	Modelado de la línea en CaePipe	89
12.1.2.	Resultados del modelo 7-C30-4"	93
12.2.	Simulación línea 7-C30-6"	99
12.2.1.	Modelado de la línea en CaePipe	99
12.2.2.	Resultados del modelo 7-C30-6"	103
13.	Simulación línea 6-C30-10"	109
13.1.	Simulación línea 6-C30-10" ORIGINAL	110
13.1.1.	Modelado de la línea en CaePipe	110
13.1.2.	Resultados del modelo	114
13.2.	Simulación línea 6-C30-10" RESOLUTIVO	116
13.2.1.	Resultados del modelo	118
14.	Verificación bombas P-101A & P-101B	120
14.1.	Simulación de las bombas	120
14.2.	Caso A	123
14.2.1.	Bomba P-101-A	123
14.2.2.	Bomba P-101-B	124
14.3.	Caso B	126
14.3.1.	Bomba P-101 A	126
14.3.2.	Bomba P-101 B	127



1. Que es CaePipe



El programa que vamos a utilizar para la simulación y análisis de las líneas de tuberías se llama "CAEPIPE 10.30".

Este programa ofrece una versión gratuita con acceso a la mayoría de los recursos del programa, pero solo permite modelar hasta 20 nodos con esta versión. Por lo cual, las líneas, se estudiarán de forma independiente, sin superar nunca esta restricción de nodos.

El programa CAEPIPE pertenece a la desarrolladora americana de software para ingenieros "SST System Inc." Constituida en 1983 y en constante desarrollo. Otros programas de esta desarrolladora son "checkSTRESS™" o "HOTclash™". También trabaja con otras empresas del sector como AVEVA.

CAEPIPE 10.30 es un software de análisis de estrés para tuberías. Es uno de los mejores del mercado por su facilidad de uso, posibilidad de modificación de todos los parámetros y sus grandes bibliotecas que permiten elegir entre un montón de códigos técnicos de diferentes lugares y realizar los cálculos de acuerdo con estos, sabiendo rápido si encajan en nuestro proyecto o necesita de modificaciones. Esto combinado con su gran potencia de procesamiento, permite un trabajo muy eficiente, simulando diferentes parámetros hasta llegar a las conclusiones necesarias.

Para poder simular o analizar cualquier línea, hay que seguir una serie de pasos que resumiré a continuación. También se hará un pequeño resumen de cada línea para poder explicar las diferentes elecciones tomadas para su simulación.

2. Como funciona CaePipe

CaePipe está formado principalmente por dos ventanas. La primera y más importante es un tabla donde añadiremos fila a fila, nodos y en estos, accesorios que darán forma a nuestro modelo. Esta ventana después del modelado servirá para visualizar los resultados.

La otra venta muestra la representación gráfica de lo que estamos programando y después del modelado, mostrará los resultados en de forma gráfica, mediante colores y animaciones.

La dinámica del programa consiste en declarar un material, un diámetro y unas condiciones de trabajo. Elegir la norma o código que debe cumplirse y los resultados que queremos que muestre el programa. Luego ir modelando la línea, añadiendo los accesorios y las longitudes de cada tramo.

3. Como diseñar en CaePipe

Para comenzar con el diseño, lo primero que hay que hacer es abrir el programa, darle a nuevo (New) y elegir "Model (.mod)" para crear el modelo. Las otras opciones son para entrar directamente a las librerías y poder modificar o añadir nuevos elementos.

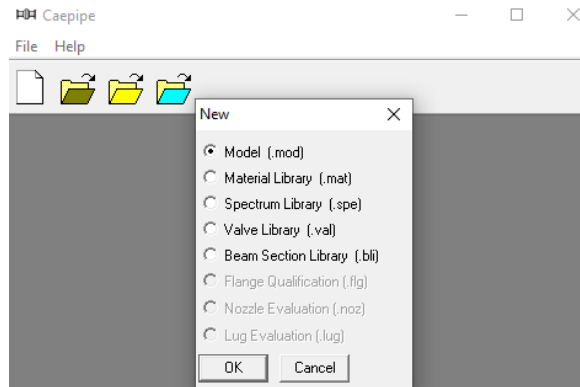


Imagen 2: pantalla de inicio de CaePipe™.

El siguiente paso, será añadir un nombre al estudio. Para ello en la ventana principal, seleccionamos la línea de “Title” y añadimos el nombre que decidamos. En este caso, “LINEA DE EJEMPLO”.

3.1. Opciones de diseño

El paso siguiente es elegir las “opciones del análisis” que va a realizar al modelo. Para ello, desde la ventana principal, seleccionamos primero “options” (arriba centrado) y cuando se despliega la ventana, seleccionamos “Analysis” para entrar en la ventana “Analysis Option”.

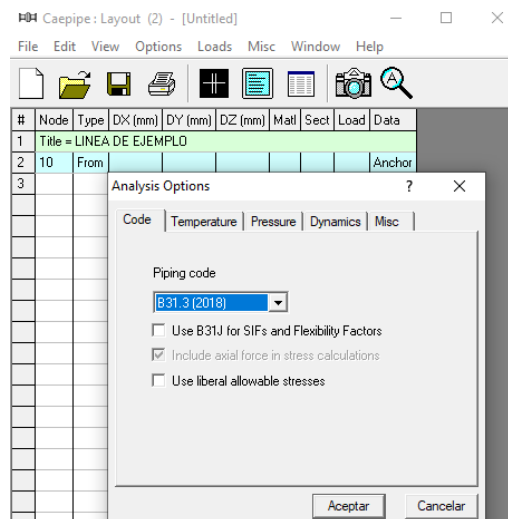


Imagen 3: ventanas para la selección del análisis.

En esta ventana, elegimos diferentes parámetros respecto a los cuales se va a comprobar la línea de tuberías.

Lo primero que podemos elegir es el tipo de código. En nuestro caso se ha seleccionado el código ASME B31.3, que es un código redactado por la asociación de ingenieros mecánicos americanos, con utilidad en las tuberías de procesos, como los que se dan en las centrales petroquímicas. Para las tuberías que intervengan en la producción de electricidad sería el B31.1 y para las tuberías de transporte o distribución de gas fuera de una central sería el código ASME B31.8, en este proyecto todas las líneas se rigen por el código ASME B31.3.

En la pestaña de temperatura, elegimos cual es la temperatura ambiente, y número de cargas térmicas que vamos a simular, en nuestro caso, solo una, ya que luego habrá diferentes modos de cálculo y en nuestra unidad no intervienen grandes temperaturas.

La pestaña de presión nos da a elegir entre dos formas de calcular las tensiones, en “Dynamic” la frecuencia de corte y el cálculo de modos, en la pestaña “misc” hay varios parámetros como la verticalidad o el rendimiento del factor de desplazamiento.

3.2. Casos de carga

El siguiente paso es elegir los tipos de análisis que va a realizar el programa.

Para ello, en la ventana principal, seleccionamos “Loads” y aquí “load cases” para elegir los análisis que queremos que realice. En este caso seleccionaremos casi todos (menos Desing y Static seismic), para ver cuál es la situación más desfavorable. Los tipos de análisis se van juntando entre sí, para llegar a resultados más complejos.

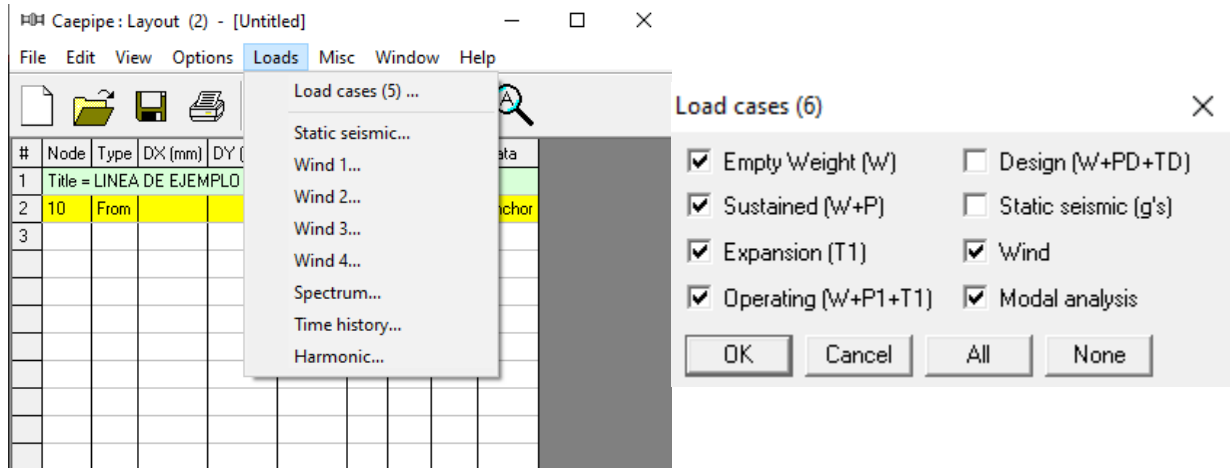


Imagen 4: ventanas donde configurar las cargas y los tipos de análisis que se van a efectuar.

Se pueden añadir hasta cuatro cargas diferentes de viento, y simular el comportamiento del modelo bajo diferentes valores del sismo y así ver cómo se comporta el modelo en estas circunstancias especiales.

No es necesario realizar el estudio sísmico, ya que según el ASCE 7, apartado “11.4. Seismic Ground Motion Values” dice:

“Where S_1 is less than or equal to 0.04 and SS is less than or equal to 0.15, the structure is permitted to be assigned to Seismic Design Category A and is only required to comply with Section 11.7.”

El valor para SS en Bilbao es menor a 0,15 y la S_1 es igual a 0,04. Por lo que según esto hay que seguir al punto 11.7 del ASCE 7.

En la sección 11.7 del documento encontramos:

“Buildings and other structures assigned to Seismic Design Category A need only comply with the requirements of Section 1.4. Nonstructural components in SDC A are exempt from seismic design requirements.”

Por lo que, siguiendo estas indicaciones, no se va a realizar el estudio sísmico de las tuberías. Aun así, los ingenieros con más experiencia recomiendan hacer un estudio de comprobación con una tubería horizontal larga, y simularla para viento y para sismo, de forma separada, y el estudio más desfavorable es el que se llevará a cabo. Esta comprobación se hizo y el estudio más desfavorable fue el de viento.

Para la configuración del viento, en la pestaña de “Loads” seleccionamos “Wind 1...”.

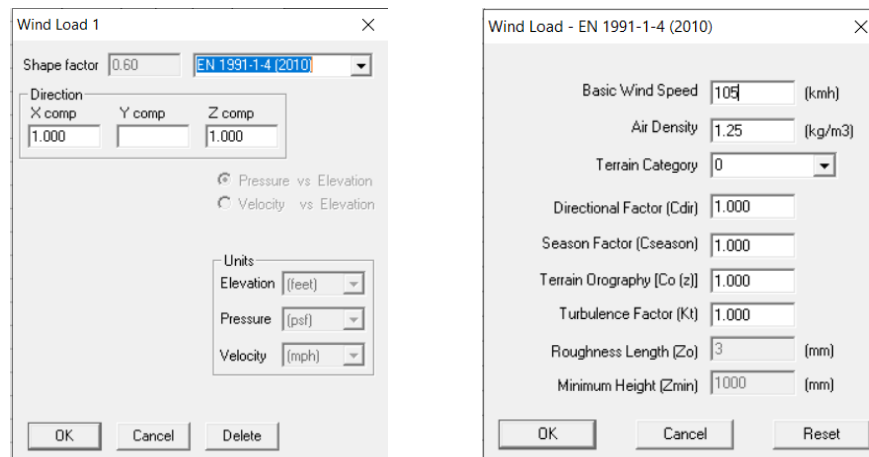


Imagen 5: ventanas y valores necesarios para definir el viento del modelo.

Para definir el viento, se ha optado por el eurocodigo EN-1991-1-4- (2010). En este código encontramos los valores del viento para nuestro modelo. Estos son:

- Velocidad básica del viento → 105 Km/h
- Terrain category → Categoría 0. Altura sobre nivel del mar de 3m
- Cdir, Factor direccional → anexo nacional del eurocodigo o 1
- Cseason, Factor estacional → anexo nacional del eurocodigo o 1
- Co(z), Coeficiente Topográfico → anexo A.3 → 1
- Kt, Factor del terreno → 4.3.2. rugosidad terreno=0,16 → 1

Estos valores serán los mismos para todas las líneas que se simulen. En vez de hacer varias hipótesis de viento, se va a considerar que el viento golpea directamente en las dos direcciones X y Z.

Los diferentes tipos de análisis que podemos realizar con CaePipe son los siguientes:

- **Empty Weight (W)** → el peso de tubería vacía, sin presión ni temperatura.
- **Sustained (W+P)** → tensiones por el peso de la tubería llena y presiones que se puedan dar en el fluido.
- **Expansión (T1)** → tensiones ocasionadas por los cambios de temperatura
- **Operating (W+P1+T1)** → Se suman, las tensiones y deformaciones generadas por el peso de la tubería, la presión normal y la temperatura ambiente.
- **Desing (W+PD+TD)** → Es el tipo análisis más complejo. Es el resultado de la combinación de acciones más desfavorables sin importar las condiciones de partida. En este proyecto este

estudio no se va a tener en cuenta, ya que necesita un modelo más complejo (varias las líneas de la unidad) para tener datos relevantes.

- **Static seismic (g's)** → simulación de sismo para los valores que incluido
- **Wind** → simulación para los casos de viento introducidos.
- **Modal análisis** → es el estudio que determina las frecuencias naturales y los modos de vibración.

Se pueden añadir hasta cuatro cargas diferentes de viento, y simular el comportamiento del modelo bajo diferentes valores del sismo y así ver cómo se comporta el modelo en estas circunstancias especiales.

Los casos de carga que elegiremos para nuestros estudios serán los 6 siguientes (también mostrados en la imagen 4):

-Empty Weight (W)

- Sustained (W+P)

- Expansión (T1)

- Operating (W+P1+T1)

-Wind

- Modal análisis

3.3. Declarar materiales

Ahora que ya tenemos definido el tipo de estudio y sus condiciones, vamos a comenzar a declarar los materiales que intervienen y las diferentes secciones que se utilizan.

Para declarar el material, en la ventana principal hacemos clic en la celda de “Matl” o pestaña “misc” + “materials”. Aparecerá una nueva tabla donde definir los materiales (“CaePipe: Materials (0)”) esta tabla, hacemos doble clic sobre “Name”, obtendremos la ventana emergente “Material #1”. En esta ventana le damos a “Lybrary” nos saldrá una librería con todos los materiales diferentes que tiene registrado el programa, separados por los códigos que los recogen.

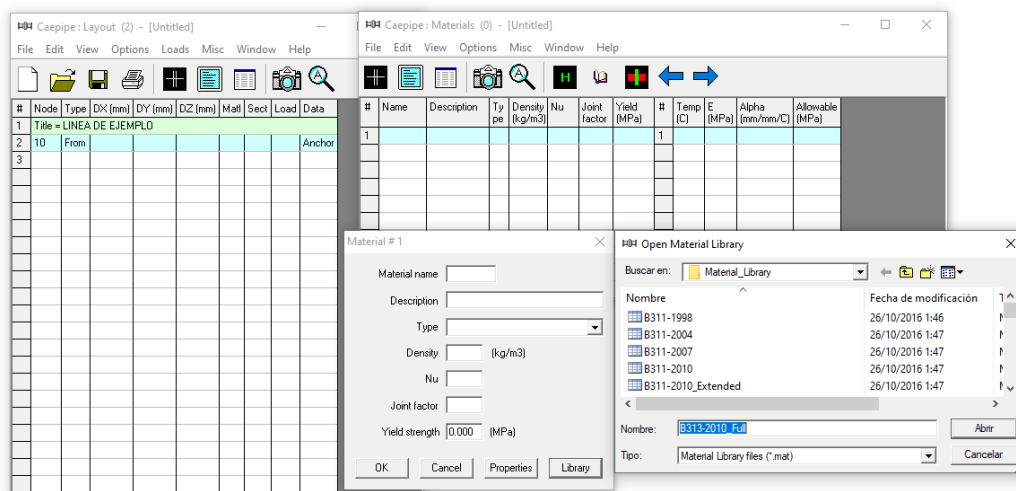


Imagen 5: pantallas para declarar los materiales que se van a utilizar

3.4. Declarar sección

El siguiente parámetro que hay que introducir para poder crear un modelo, es la sección de las tuberías y todo lo relacionado. Schedule, clase, aislamiento....

Desde la ventana principal, haremos doble clic en la celda "Sect" o clic en la pestaña "misc" + "Section"; y se abrirá la ventana "Pipe Section", aquí le daremos de nuevo, doble clic en Name y nos saldrá la ventana para configurar la sección de nuestra tubería.

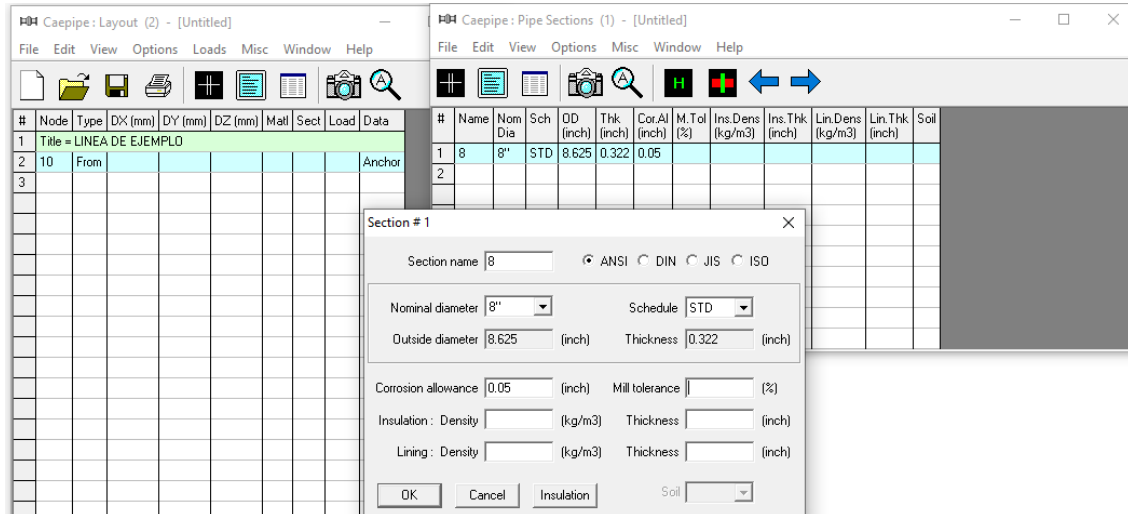


Imagen 6: captura de pantalla de las ventanas para la configuración de la sección de la tubería.

Al seleccionar el diámetro nominal de la tubería, y su Schedule, el diámetro exterior y el grosor de la tubería se ingresan automáticamente. Para saber cuál es el coeficiente de corrosión, hay que ver la tabla de clase del material (imagen __al comienzo de líneas, lo de las clases_)

Este programa también nos permite simular estructuras, por lo que también se puede declarar en otro apartado, el material y la sección para la viga.

3.5. Declarar cargas del entorno

El siguiente punto es declarar las diferentes cargas. Esto quiere decir declarar los valores de temperatura y presión para los diferentes modelos de carga. Estos valores serán en los que trabaje la línea. Para ello, doble clic en la celda de "load", o en la pestaña "misc" + "load".

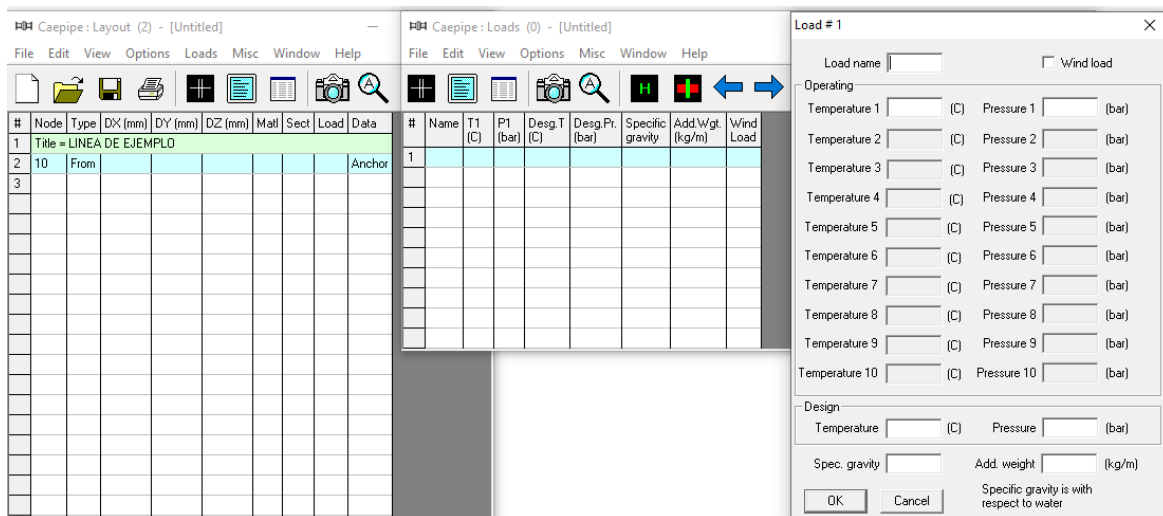


Imagen 7: captura de pantalla de CaePipe con las ventanas para declarar las cargas.

La temperatura de diseño y la presión de diseño siempre deben ser mayores o iguales que la temperatura y la presión de funcionamiento ($TD > T1$ y $PD > P1$).

La temperatura de diseño introducida se utilizará para calcular la tensión permitida para el material. También se calculará la presión permitida según el código seleccionado para cada estudio.

La presión permitida calculada según el código de tubería seleccionado se compara luego con la presión de diseño ingresada anteriormente y se informa en los resultados de cumplimiento del código.

La presión de diseño se calcula en al menos, un 10% por encima de la presión máxima de funcionamiento. La temperatura de diseño debe ser al menos 25°C por encima de la temperatura normal de funcionamiento

3.6. Introducción del modelo

Ahora que ya tenemos todos los parámetros identificados y cargados en el programa, comenzaremos con la entrada del modelo.

Para comenzar, en la columna de los nodos, los nombraremos con incrementos de 10 en 10, para poder introducir líneas de programa más adelante si fuese necesario.

Para definir el elemento que se va a colocar en la línea, hay dos columnas, en una columna se seleccionan los “Element Types” y en otra columna los “Data Types”.

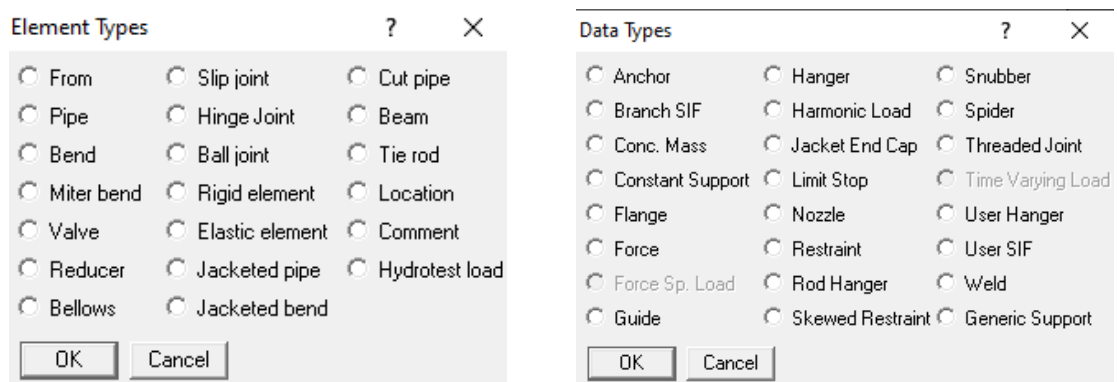


Imagen 8: ventanas de los tipos de elemento y de los tipos de datos del programa CAEPIPE

En la parte de “tipos de elemento”, podemos seleccionar si lo que estamos diseñando es una tubería, un codo, una válvula, un reductor, un fuelle, un tapon o añadirle un comentario por ejemplo.

Mientras que en los “tipo de datos”, podemos añadir elementos que se calcularán después individualmente, como puede ser un anclaje, una brida, una guía, un soporte, una tobera, una restricción, una soldadura, etc.

Las columnas “DX”, “DY” y “DZ” se utilizan para dimensionar en la dirección de cada eje el elemento que se está introduciendo.

Como la mejor forma de explicar el funcionamiento del programa es poniendo un ejemplo, en el análisis de la primera línea, se va a explicar completamente el proceso de simulación y la elección de todos los datos y valores.

4. Simulación explicada de la Línea 1-C30-8”

4.1. Modelado de la línea en CaePipe

Lo primero es conocer todo lo que podamos de la línea. Gracias al P&ID que incluía el proyecto en la documentación inicial, podemos conocer la temperatura y presión de trabajo de la línea. La información que tenemos es la siguiente:

- La línea 1 se monta en 8 pulgadas de diámetro, clase #300 y Schedule (grosor) STD.
- Temperatura del fluido → 210°F (98,9°C)
- Presión en el interior de la tubería → 255 PSIG (17,58 bar)

Estos datos se han podido obtener gracias al diagrama de flujo del proceso, donde se incluyen los datos de las tuberías más importantes, este diagrama se encuentra en la imagen 6 de la “Memoria descriptiva”.

En esta línea, el objetivo de la simulación es ver cómo se comporta sobre el portante derecho CD del Rack. Calcular las cargas que transmite la tubería a la viga transversal y ver si su dilatación es libre o entra en conflicto con algún otro elemento. También se calculará como se carga en la unión con la torre de fraccionamiento.

Para comenzar con este estudio, lo primero que hay que hacer es identificar el material del que se va a construir la tubería.

El material elegido para esta fabricación será un acero al carbono ASTM A53 Grado B con un 0,3% de carbono, indicado especialmente para tuberías de instalaciones petroquímicas, por sus propiedades y facilidad para soldar, además esta aceptada por la norma ASME 31.3.

Las propiedades del material las podemos ver en la imagen 6 de la “Memoria constructiva”, pero también nos las ofrece el programa cada vez que seleccionamos el material.

Para declarar el material de fabricación, se entra en la tabla de materiales haciendo clic en la celda de “Matl”. Y entre las librería se escoge “B313-2010_Full”, y dentro elegimos el material A53 Grade B. Lo nombramos como “A53B”, ahora siempre que lo queramos declarar tendremos que identificarlo con ese nombre.

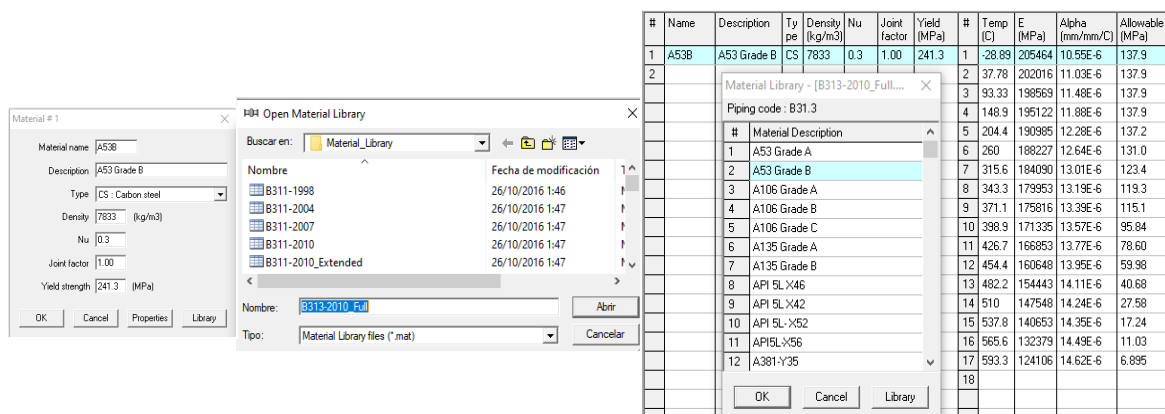


Imagen 9: captura de CAEPIPE con las ventanas necesarias para la elección del material.

El siguiente paso, es el de nombrar las secciones de la línea, como solo tiene un diámetro, solo se registrará una sección.

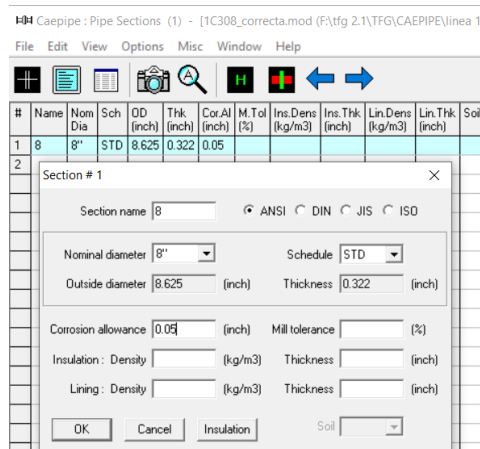


Imagen 10: captura de pantalla de la sección que montará la línea 1-C30-8”

Los datos de la línea, nos dan el diámetro que tiene, el Schedule y su clase. Revisando la clase C30 (imagen ___), nos dice que tolerancia a la corrosión son 0,05inch. Esta tubería no tiene ninguna aislante (insulation) o línea auxiliar que la acompañe.

Esta línea tiene clase 300#, esto tendrá repercusión a la hora de seleccionar los accesorios como codos, válvulas o bridas.

El siguiente parámetro que hay que identificar, son las cargas. Como se decía al principio, esta línea tiene una temperatura de funcionamiento de 98,9°C y una presión de funcionamiento de 17,6 Bar. Estos datos, el programa los designa como datos de operación, que serán las condiciones de funcionamiento de la línea.

Ahora se calculan los datos de diseño, estos siempre tienen que ser igual o superiores a los de operación. La temperatura se recomienda que supere al menos en 25°C a la de operación. Por lo que nuestra temperatura de diseño será de 125 °C .La presión de diseño tiene que ser un 10% mayor que la de operación. Si esta era de 17,6 bar, la presión de diseño que hay que introducir es de 19,36 Bar. En esta ventana es necesario activar el viento “Wind Load”.

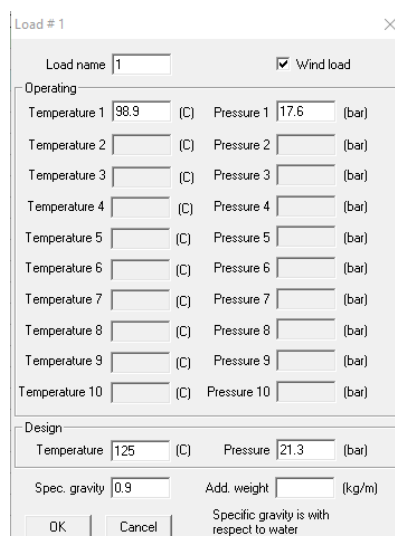


Imagen 11: condiciones de trabajo para la línea 1-C30-8”

Ahora que ya tenemos el material, el diámetro de la línea y las cargas definidas, comenzamos con el diseño de la línea. En el plano "Plano_TUBE_01" del anejo "Planos" se ve el recorrido que tiene. Y tras digitalizarla en AVEVA E3D con el resto de las líneas, equipos y estructuras, podemos hallar la posición exacta de cada elemento en la línea.

El programa siempre comienza con un anclaje (anchor), que se asemeja a la conexión a un equipo. Así se crea un punto fijo para el inicio.

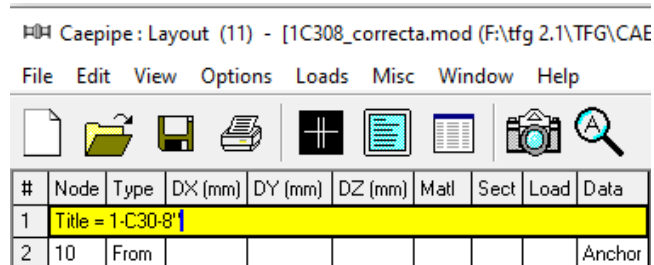


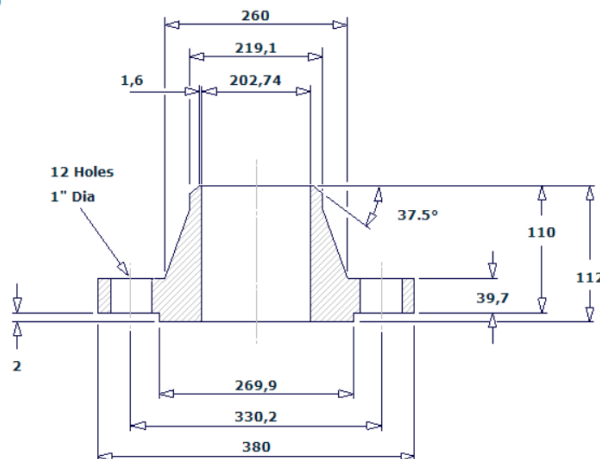
Imagen 11: comienzo del modelo para la línea 1-C30-8"

La línea está unida al anclaje mediante una brida (Flange) WeldNeck, de clase 300#, con las caras RF y un Schedule STD.

Es necesario buscar una brida en catalogo para ver cuáles son sus propiedades. En este caso, se utilizamos el programa "Pipedata Pro" con el que es muy fácil encontrar los datos de los accesorios que necesitamos. Estos datos suelen ser el peso del accesorio, su longitud, diámetro, grosor, número de agujeros o valor de la junta. Todos los datos de accesorios que se van a usar en este proyecto provendrán del programa "Pipedata Pro" y están recogidos en el anejo "Datos físicos y geométricos".

8"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 30,61 kg
S/Bolts and Nuts = 8,29 kg



StudBolt Size : 7/8" UNC (or M24) x 140 Long

ASME B16.5-2017

Imagen 12: captura de una brida WeldNeck en el programa "Pipedata Pro 14".

Ahora que ya tenemos los datos de la brida, la introducimos en el programa. Para ello, en la columna de “Data” seleccionamos “Flange”, nos sale una venta emergente para que la rellenemos con los valores de la brida. Es aquí donde encontraremos la diferencia entre clases, ya que la brida de 150# es mas ligera, de menor longitud y aguanta menos presión.

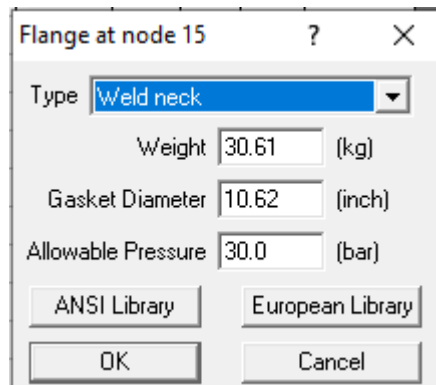


Imagen 13: captura de pantalla de los requisitos para introducir una tobera en CAEPIPE.

Seleccionamos el tipo de brida, añadimos su peso, y el diámetro de la junta

Para la presión de todas las bridas de la línea daremos 20 bar, que es la equivalencia de 300 libras por pulgada cuadrada a bares.

Ahora hay que dimensionar la brida en su eje correspondiente, para ello, le daremos 112mm en dirección de eje X, es decir, añadiremos 112 a la columna de DX (mm).

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1									Title = 1-C30-8"
2	10	From							Anchor
3	15		112			A53B	8	1	Flange

Imagen 14: programación hasta la brida de la línea 1-C30-8"

En la columna de “Matl” llamaremos al material, A53B.

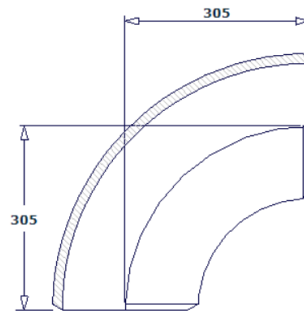
En la columna de “Sect” llamaremos a la sección de 8.

En la columna de “Load” indicaremos la situación de cargas de la línea, 1.

El siguiente accesorio que encontramos en la línea, es un codo (Bend). Para poderlo introducir sin errores, es necesario visualizar uno para conocer sus medidas.

El programa coloca un nodo en la esquina del codo, para que se pueda representar correctamente en el software, hay que darle como mínimo, la longitud del radio en dirección de sus ejes, 305mm como se ve a continuación.

8"NPS BW 90° LR Elbow Sch-STD
Weight = 20,3 kg



ASME B16.9-2018

Imagen 15: codo de 90°C, LR, de 8" de diámetro y Schedule STD. Captura de Pipedata Pro.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 1-C30-8"								
2	10	From							Anchor
3	15				-112	A53B	8	1	Flange
4	20	Bend			-305	A53B	8	1	

Imagen 16: configuración de la línea 1-C30-8" hasta su primer codo

Tras el codo, los siguientes accesorios, son una válvula sujeta por dos bridas.

Para colocar la primera brida en su posición, descenderemos la línea 739mm en dirección DY(mm). Como va en sentido contrario al eje, se añadirán en negativo.

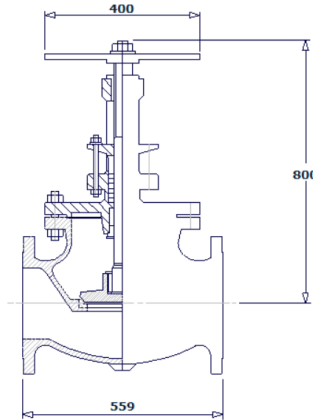
En este caso, no es importante la longitud de la brida, ya que la línea no se carga sobre ella.

Los datos de la brida, son los mismos que para todas las bridas del mismo tamaño y clase.

Cuando tenemos la primera brida conectada (en la columna de Data), instalamos la válvula (en la columna de "Types"), con todas las propiedades que hemos obtenido de Pipedata Pro como se ve a continuación.



8"NPS Flanged Globe Valve 300# RF
Valve Weight = 397kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

Imagen 17: valores para una válvula de globo de 8", clase 300# con las caras RF.

Con estos datos, podemos rellenar los valores de la válvula que vamos a instalar.

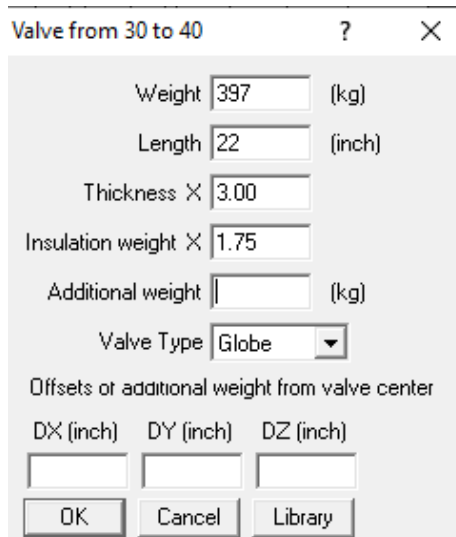


Imagen 18: captura de pantalla de los requisitos para introducir una válvula en CAEPIPE

Como longitud de la válvula, introducimos los 558,8mm que mide su cuerpo en la columna "DY (mm)". Esta válvula termina con otra brida (Flange) sujetándola.

Caepipe : Layout (11) - [1_C30_8_OK.mod (F:\tfg 2.1\CAEPIPE\line:)

File Edit View Options Loads Misc Window Help

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 1-C30-8"								
2	10	From							Anchor
3	15				-112	A53B	8	1	Flange
4	20	Bend			-305	A53B	8	1	
5	30			-739		A53B	8	1	Flange
6	40	Valve		-558.8		A53B	8	1	Flange

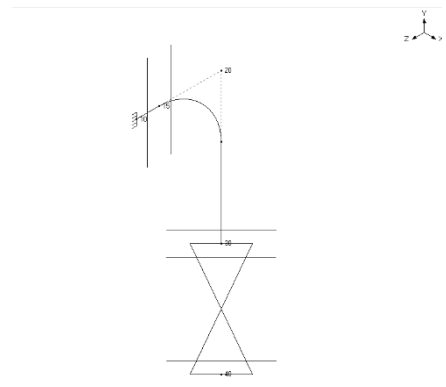


Imagen 19: modelo de línea 1-C30-8" hasta el nodo 40 con su representación grafica

El siguiente elemento es un codo de 90°. Se define "bend" en la columna "Types", y se baja hasta la cota 3176mm, restándole 3145,84mm en el eje Y.

Después de este codo (nodo 50), viene el punto que mas nos interesa, donde la tubería apoya sobre el portante derecho CD. En este punto añadiremos una guía en el eje Y("Limit stop" en el programa), que soportará la tubería verticalmente, pero la permitirá girar y deformar un poquito en las diferentes direcciones.

Imagen 20: valores del soporte colocado en nodo 55 sobre portante derecha CD

El siguiente elemento, es un codo de 90° (en el nodo 60), y su deformación puede tener influencia sobre el rack. Para introducirlo en el modelo, hay que añadir 2440mm en dirección norte (eje Z) y luego 109mm más 305mm de radio de codo.

Para añadir el siguiente codo, hay que subir la línea 626,64mm. Tras este codo, la línea ya se encuentra sobre el rack.

Para poder simular mejor el comportamiento de la línea y del soporte sobre la viga transversal, se va a simular el tramo de tubería que discurre por el rack. La línea se remata con una restricción en su eje longitudinal.

Para sujetar la línea al rack, se han probado diferentes tipos de soporte. Pero al final el que mejor reparte las tensiones y las deformaciones de la línea, es un patín deslizante que sirve de guía. Permitiendo cierto desplazamiento en dirección horizontal y el giro libre, pero limita la deformación de la tubería en dirección vertical. El accesorio elegido ahora y para todos los soportes de tuberías, será un "Limit stop" como el anterior.

El modelado de la línea completa será como el que se muestra a continuación.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 1-C30-8"								
2	10	From							Anchor
3	15				-112	A53B	8	1	Flange
4	20	Bend			-305	A53B	8	1	
5	30			-739		A53B	8	1	Flange
6	40	Valve		-558.8		A53B	8	1	Flange
7	50	Bend		-3145.84		A53B	8	1	
8	55				-2440	A53B	8	1	Limit stop
9	60	Bend			-414	A53B	8	1	
10	70	Bend		626.64		A53B	8	1	
11	80		4000			A53B	8	1	Limit stop
12	90		575			A53B	8	1	X restraint
13									

Imagen 21: modelo completo de la línea 1-C30-8"

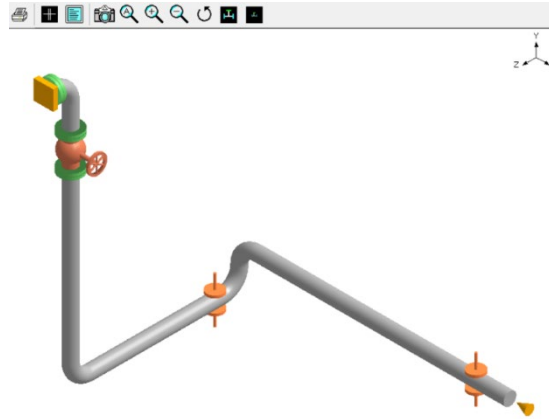


Imagen 22: captura de pantalla de CaePipe, con la representación en 3D del modelo introducido.

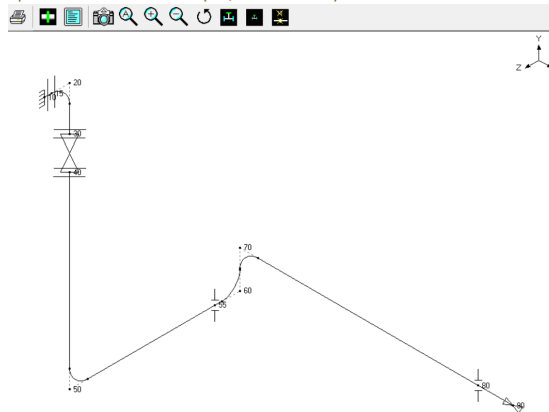


Imagen 23: representación a una sola línea, en vista isométrica del modelo de la línea 1-C30-8"

Antes de terminar con el modelado y pasar a ver los resultados, es necesario elegir los estudios que se van a llevar a cabo. Como se comentó al principio del documento, se realizarían 6 estudios.

- Empty Weight (W)
- Sustained (W+P)
- Expansión (T1)
- Operating (W+P1+T1)
- Wind
- Modal análisis

Para poder añadir al estudio la acción del viento, es necesario declarar los valores que tendrá en la ubicación de nuestra unidad. Como se comentaba al principio, los valores se han cogido del eurocodigo EN_1991-1-4 del 2010. Para poder añadir el viento es necesario clicar en Loads y seleccionar Wind 1

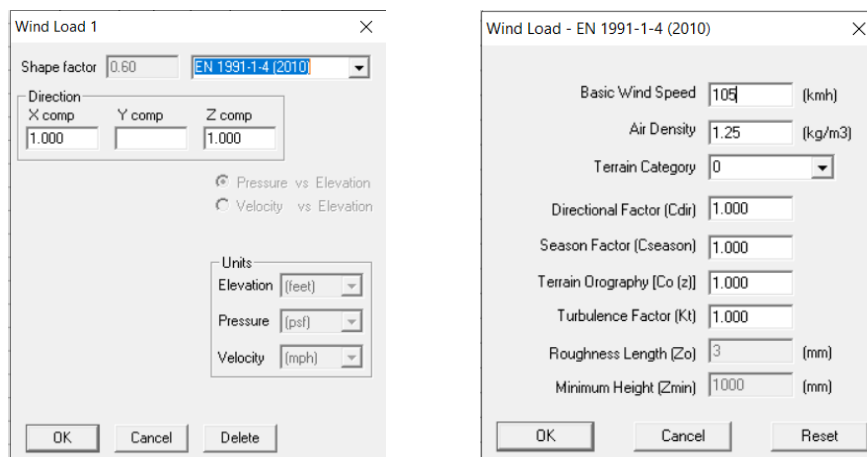


Imagen 24: ventanas y valores donde definir el viento

Una vez declarado el viento, pasamos a seleccionar los tipos de estudios que queremos realizar. Para ello pinchamos en Load y en Load Cases.

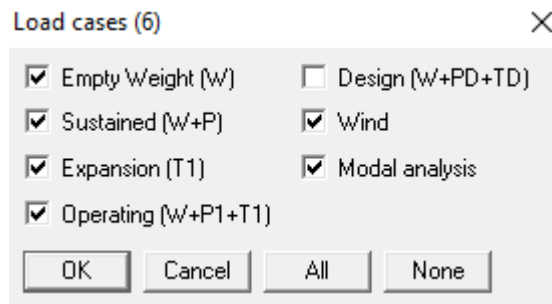


Imagen 25: casos de carga o de estudio a los que se va a someter el modelo

Cuando ya se tiene el modelo terminado, se guarda y se analiza. Presionando “file” y en el desplegable, “Analyze”.

4.2. Resultados de la línea según CaePipe

Si se han introducido correctamente todos los valores, tras el guardado y el análisis del archivo, nos saldrá la siguiente venta emergente mostrándonos todos los resultados y dándonos a elegir cual queremos visualizar.

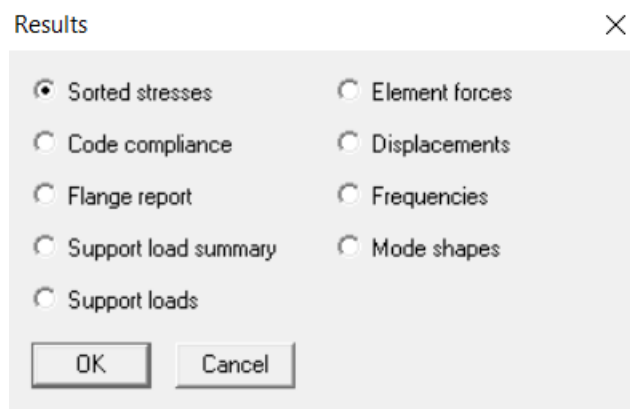


Imagen 26: captura de pantalla de CaePipe, selección de resultados a visualizar.

4.2.1. Sorted stresses

Comenzaremos por el primero de los resultados que nos muestra “Sorted Stresses”.

La primera tabla nos muestra el análisis de tensiones que hay en cada nodo de la línea, separados por columnas, cada una de ellas es un momentos de carga diferente. Y dentro de la misma columna se comparan las tensiones del nodo con las permitidas según el código de referencia elegido, en nuestro caso, ANSY 31.3

Caepipe: B31.3 (2018) Code compliance (Sorted stresses) - [1-C30-8.res (F:\tfg :
File Results View Options Window Help

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	20A	27.49	137.9	0.20	50A	19.89	206.8	0.10	20A	42.33	183.4	0.23
2	10	26.22	137.9	0.19	50B	19.40	206.8	0.09	20B	35.65	183.4	0.19
3	20B	22.46	137.9	0.16	20A	6.810	206.8	0.03	10	34.52	183.4	0.19
4	15	22.28	137.9	0.16	20B	6.370	206.8	0.03	15	30.82	183.4	0.17
5	30	19.67	137.9	0.14	15	3.591	206.8	0.02	60A	28.75	183.4	0.16
6	60A	19.63	137.9	0.14	10	3.433	206.8	0.02	50A	28.63	183.4	0.16
7	55	18.81	137.9	0.14	30	2.908	206.8	0.01	50B	28.28	183.4	0.15
8	40	18.15	137.9	0.13	40	2.665	206.8	0.01	30	25.15	183.4	0.14
9	70A	17.01	137.9	0.12	70B	2.141	206.8	0.01	55	24.74	183.4	0.13
10	60B	16.63	137.9	0.12	60A	1.728	206.8	0.01	70B	23.93	183.4	0.13
11	50A	16.35	137.9	0.12	55	1.421	206.8	0.01	70A	23.85	183.4	0.13
12	50B	15.95	137.9	0.12	70A	0.308	206.8	0.00	60B	23.52	183.4	0.13
13	80	15.76	137.9	0.11	60B	0.171	206.8	0.00	40	21.19	183.4	0.12
14	70B	15.29	137.9	0.11	80	0.133	206.8	0.00	80	16.05	183.4	0.09
15	90	15.27	137.9	0.11	90	0.133	206.8	0.00	90	15.46	183.4	0.08

Imagen 27: captura de pantalla de los resultados del análisis de la línea 1-C30-8"

- SL → tensión a carga sostenidas
- SH → tensión permitida por el código a la temperatura de estudio
- SL/SH → comparación entre la tensión resultante y la permitida
- SE → tensión termica
- SA → rango dw tensiones admisibles
- SE/SA → Flexibilidad inherente. Si SE/SA >1 trazazo poco flexible
- SO → tensiones ocasionales, seismo + vientos
- SHO → tensiones admisibles para la suma de cargas sostenidas mas ocasionales.

Si seleccionamos cada tipo de analisis separado por columnas, "sustained", "Expansion" y "Occasional", el programa nos muestra una representacion tensional en colores.

Nos puede dar la representacion de los resultados, o la comparativa con la norma.

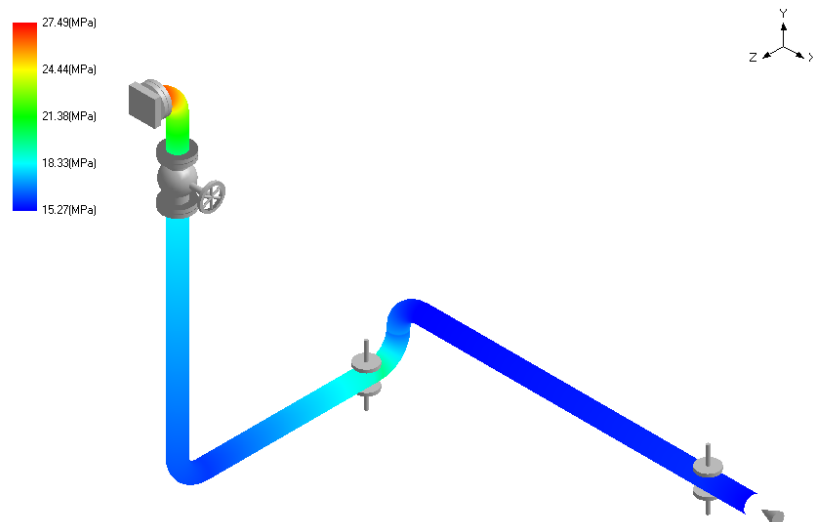


Imagen 28: representacion tensional de de las cargas sostenidas (SL)

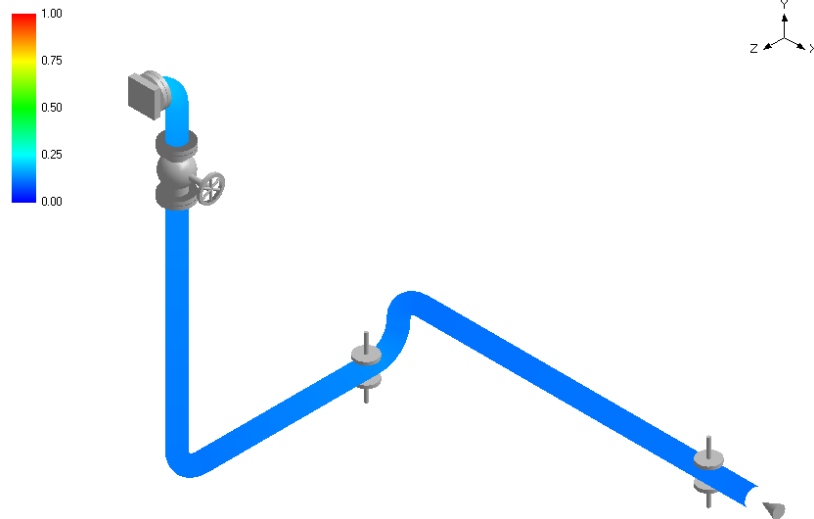


Imagen 29: comparativa entre las tensiones de carga sostenida y las aceptadas por la norma (SL/SH)

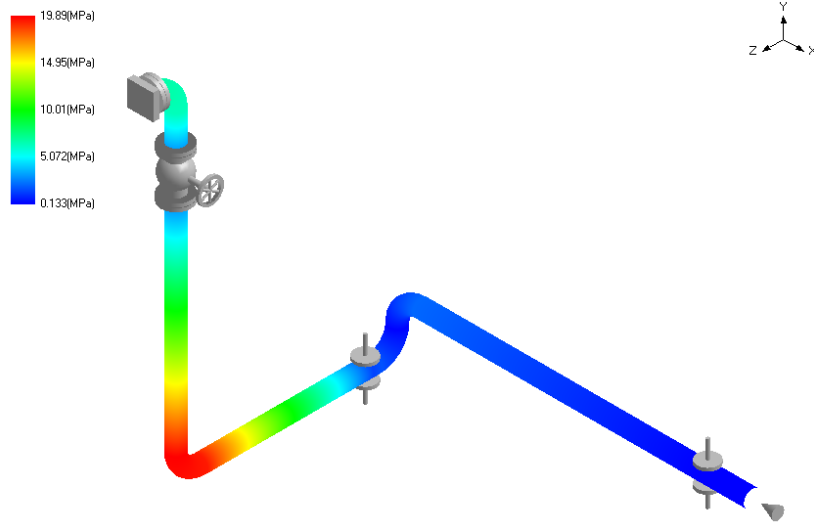


Imagen 30: representación tensional por expansion termica (SE)

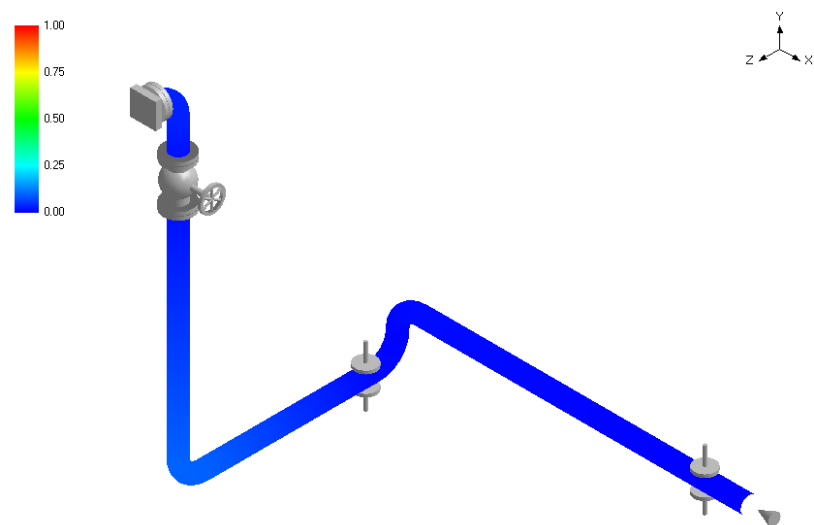


Imagen 31: comparativa entre las tensiones termicas y las permitidas por norma (SE/SA)

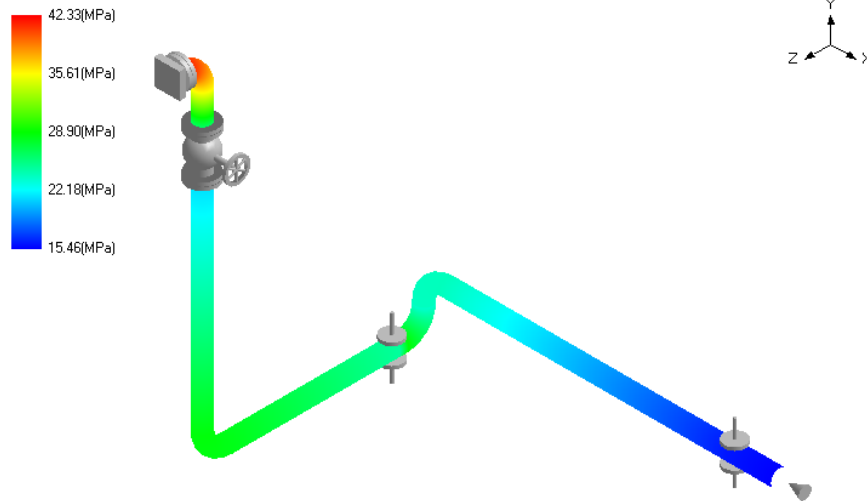


Imagen 32: representación tensional de la suma de cargas por peso propio (SL) mas cargas ocasionales(SO)

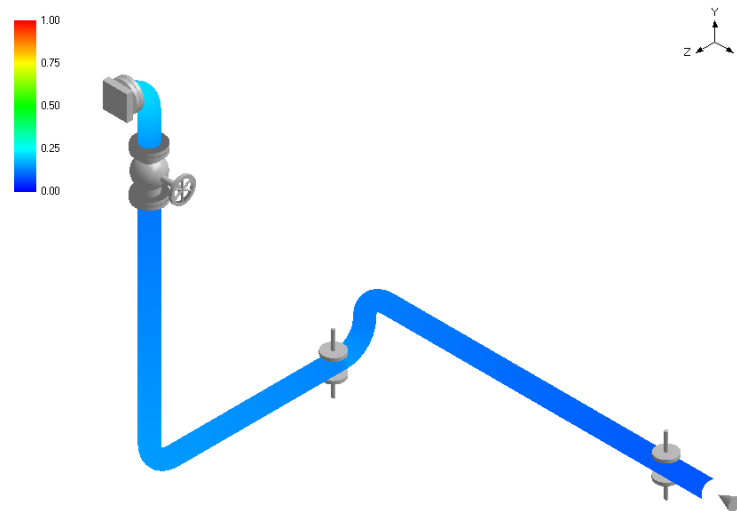


Imagen 33: comparativa entre tensiones ocasionales y permitidas por la norma $((SL+SO)/SHO)$

4.2.2. Code Compliance

La siguiente tabla que nos ofrece el programa es "Code Compliance", donde se comparan los nodos en ambos lados con los datos del código y si cumplen o no (de no cumplir, saldría el valor en rojo). Esta tabla nos muestra más resultados que la anterior, pero en la ventana gráfica, solo muestra el punto al que se refiere cada fila de la tabla.

#	Node	Press. Allow. (bar)	Sustained			Expansion			Occasional		
			SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	10	21.3	26.22	137.9	0.19	3.433	206.8	0.02	34.52	183.4	0.19
	15	89.2	22.28	137.9	0.16	3.591	206.8	0.02	30.82	183.4	0.17
2	20A	21.3	27.49	137.9	0.20	6.810	206.8	0.03	42.33	183.4	0.23
	20B	89.2	22.46	137.9	0.16	6.370	206.8	0.03	35.65	183.4	0.19
3	20B	21.3	20.13	137.9	0.15	3.617	206.8	0.02	27.68	183.4	0.15
	30	89.2	19.67	137.9	0.14	2.908	206.8	0.01	25.15	183.4	0.14
4	40	21.3	18.15	137.9	0.13	2.665	206.8	0.01	21.19	183.4	0.12
	50A	89.2	16.04	137.9	0.12	8.837	206.8	0.04	23.10	183.4	0.13
5	50A	21.3	16.35	137.9	0.12	19.89	206.8	0.10	28.63	183.4	0.16
	50B	89.2	15.95	137.9	0.12	19.40	206.8	0.09	28.28	183.4	0.15
6	50B	21.3	15.78	137.9	0.11	8.448	206.8	0.04	22.98	183.4	0.13
	55	89.2	18.81	137.9	0.14	1.421	206.8	0.01	24.74	183.4	0.13
7	55	21.3	18.76	137.9	0.14	1.304	206.8	0.01	24.73	183.4	0.13
	60A	89.2	17.82	137.9	0.13	1.075	206.8	0.01	24.10	183.4	0.13
8	60A	21.3	19.63	137.9	0.14	1.728	206.8	0.01	28.75	183.4	0.16
	60B	89.2	16.63	137.9	0.12	0.171	206.8	0.00	23.52	183.4	0.13
9	60B	21.3	16.12	137.9	0.12	0.093	206.8	0.00	22.83	183.4	0.12
	70A	89.2	16.16	137.9	0.12	0.138	206.8	0.00	22.86	183.4	0.12
10	70A	21.3	17.01	137.9	0.12	0.308	206.8	0.00	23.85	183.4	0.13
	70B	89.2	15.29	137.9	0.11	2.141	206.8	0.01	23.93	183.4	0.13
11	70B	21.3	15.28	137.9	0.11	0.987	206.8	0.00	21.22	183.4	0.12
	80	89.2	15.76	137.9	0.11	0.133	206.8	0.00	16.05	183.4	0.09
12	80	21.3	15.76	137.9	0.11	0.133	206.8	0.00	16.05	183.4	0.09
	90	89.2	15.27	137.9	0.11	0.133	206.8	0.00	15.46	183.4	0.08

Imagen 34: tabla con el cumplimiento del código B31.3

4.2.3. Flange report

La siguiente tabla que se nos muestra es "Flange report", que nos dará todos los valores de las bridas que conectan la línea y sujetan las válvulas. Si alguno de estos valores no fuese aceptable, se mostraría en rojo.

#	Node	Pressure (bar)	Bending moment (Nm)	Axial force (N)	Gasket diameter (inch)	Flange Pressure (bar)	Allowable Pressure (bar)	Flange Pressure Allowable
1	15	19.4	2242	542	10.62	25.3	30.0	0.844
2	30	19.4	425	6319	10.62	21.6	30.0	0.720
3	40	19.4	690	1967	10.62	21.5	30.0	0.718

Imagen 35: tabla con el reporte de las bridas.

4.2.4. Support load summary

El siguiente grupo de tablas "Support load summary", nos muestra una tabla por cada apoyo del sistema. En este caso tendremos tres. El primero es el anclaje que conecta la línea con la torre de fraccionamiento, se sitúa en el nodo 10.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	35	-6837	-167	-2082	24	92	0.000	0.000	0.000
Sustained	59	-8380	-208	-2554	40	157	0.000	0.000	0.000
Operating1	-83	-7337	542	-2935	745	-278	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	353	-7881	989	-4456	53	251	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	211	-6839	1739	-4838	758	-184	0.000	0.000	0.000
Maximum	353	-6837	1739	-2082	758	251	0.000	0.000	0.000
Minimum	-83	-8380	-208	-4838	24	-278	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 36: tabla con las cargas del anclaje situado en el Node 10

El siguiente soporte de esta linea, es el que mas nos importa, ya que se situa sobre el portante derecho CD. La linea apoya sobre un Limit Stop situado en el nodo 55

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1855	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-3137	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-4243	1273	-3.763	0.000	-1.786
Sustained+Wind	-3722	176	0.028	0.000	5.109
Operating1+Wind	-4828	1449	-3.734	0.000	3.323
Maximum	-1855	1449	0.028	0.000	5.109
Minimum	-4828	0	-3.763	0.000	-1.786

Imagen 37: cargas en el nodo 55 sobre viga transversal derecha CD

Con los valores de la columna de "Load (N)", seran con los que calcularemos y dimensionaremos el portante. Este valor junto con el cumplimiento de la norma y deformaciones ocasionadas, es el que mas nos interesa del analisis.

La siguiente tabla nos muestra los resultados del apoyo sobre el rack en el nodo 80. Este valor es muy interesante, pero no se va a tener en cuenta, ya que el peso que genera cada tuberia se ha calculado como si estuviese llena de agua y su area de influencia fuese de 6,1 metros (calculos en apartado "1.1.4.2. Área de influencia sobre vigas transversales" del anejo "Cálculo estructural").

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1028		0.000	0.000	-0.379
Sustained	-1730		0.000	0.000	-0.641
Operating1	-1666		-0.515	0.000	-6.275
Sustained+Wind	-1707		0.000	1.000	10.105
Operating1+Wind	-1644		-0.514	1.000	4.470
Maximum	-1028		0.000	1.000	10.105
Minimum	-1730		-0.515	0.000	-6.275

Imagen 38: cargas sobre el portico en el nodo 80

La ultima tabla de este grupo muestra los valores que soporta la restriccion colocada en el nodo 90.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Displacements (global)		
				X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	296			0.000	0.081	-0.427
Sustained	503			0.000	0.137	-0.721
Operating1	1225			0.000	-0.072	-7.022
Sustained+Wind	1359			0.000	1.255	10.894
Operating1+Wind	2080			0.000	1.046	4.593
Maximum	2080			0.000	1.255	10.894
Minimum	296			0.000	-0.072	-7.022
Allowables	0			0.000	0.000	0.000

Imagen 39: valores de la restriccion de final de linea

4.2.5. Support load summary

El siguiente grupo de tablas se conoce como "Support load summary", es el desarrollo de las cargas que hay en el anclaje, los limits stop y la restriccion ultima separados por cada modo de carga (empty Weight, Sustained, Operating....). no es mas que el resumen del "Support load", por lo que no se van a incluir las tablas de este apartado.

4.2.6. Element forces

El siguiente grupo de tablas es "Element forces", aquí encontramos las fuerzas que se ejercen sobre la valvula y los tramos de tuberia en cada caso de estudio y en los diferentes nodos.

Estos resultados los ofrece en dos tipos de coordenadas, las locales y las globales.

#	Node	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	10 15	-35 35	6837 -6790	167 -167	2082 -1318	-24 28	-92 92
2	20A 20B	-35 35	6490 -6291	167 -167	1318 587	-28 38	-92 82
3	20B 30	-35 35	6291 -6110	167 -167	-587 514	-38 38	-82 67
4	40 50A	-35 35	1617 -434	167 -167	-421 -53	-38 38	-47 -51
5	50A 50B	-35 35	434 -235	167 -167	53 -11	-38 49	51 -61
6	50B 55	-35 35	235 654	167 -167	11 -459	-49 123	61 -61
7	55 60A	296 -296	1201 -1155	0 0	459 -330	-123 90	61 -61
8	60A 60B	296 -296	1155 -956	0 0	330 0	-90 0	61 -151
9	60B 70A	296 -296	956 -949	0 0	0 0	0 0	151 -156
10	70A 70B	296 -296	949 -749	0 0	0 0	0 0	156 4
11	70B 80	296 -296	749 789	0 0	0 0	0 0	-4 -69
12	80 90	296 -296	239 0	0 0	0 0	0 0	69 0

Imagen 40: valores de fuerzas sobre tuberias vacias(W) en coordenadas globales.

#	Node	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	10 15	-59 59	8380 -8301	208 -208	2554 -1620	-40 47	-157 157
2	20A 20B	-59 59	8001 -7666	208 -208	1620 718	-47 65	-157 139
3	20B 30	-59 59	7666 -7361	208 -208	-718 628	-65 65	-139 113
4	40 50A	-59 59	2709 -718	208 -208	-511 -81	-65 65	-81 -87
5	50A 50B	-59 59	718 -382	208 -208	81 9	-65 83	87 -104
6	50B 55	-59 59	382 1114	208 -208	-9 -773	-83 208	104 -104
7	55 60A	503 -503	2022 -1946	0 0	773 -556	-208 153	104 -104
8	60A 60B	503 -503	1946 -1610	0 0	556 0	-153 0	104 -258
9	60B 70A	503 -503	1610 -1598	0 0	0 0	0 0	258 -266
10	70A 70B	503 -503	1598 -1263	0 0	0 0	0 0	266 2
11	70B 80	503 -503	1263 1327	0 0	0 0	0 0	-2 -116
12	80 90	503 -503	403 0	0 0	0 0	0 0	116 0

Imagen 42: valores de fuerzas sobre tuberias sostenidas (W+P) en coordenadas globales.

#	Node	Axial (N)	y Shear (N)	z Shear (N)	Torsion(Nm)		Inplane(Nm)		Outplane(Nm)		Flex. Factors		
					Moment	SIF	Moment	SIF	Moment	SIF	FFI	FFo	FFt
1	10 15	167 167	-6837 6790	35 -35	-92 -92		-2082 -1318	1.00	24 28	1.00			
2	20A 20B	167 6291	6490 -167	-35 -35	-92 -38		1318 -587	2.35	-28 82	1.96	7.36	7.36	
3	20B 30	6291 6110	-35 -35	167 167	-38 -38		-82 -67	1.00	-587 -514	1.00			
4	40 50A	1617 434	-35 -35	167 167	-38 -38		-47 51	1.00	-421 53	1.00			
5	50A 50B	434 167	167 -235	35 35	-38 61		-53 -11	2.35	51 49	1.96	7.36	7.36	
6	50B 55	167 167	-235 654	35 35	61 61		-11 -459		49 123				
7	55 60A	0 0	-1201 -1155	-296 -296	61 61		-459 -330		123 90				
8	60A 60B	0 -956	-1155 0	-296 -296	61 0		-330 0	2.35	90 -151	1.96	7.36	7.36	
9	60B 70A	-956 -949	296 296	0 0	0 0		-151 -156		0 0				
10	70A 70B	-949 -296	-296 749	0 0	0 0		156 -4	2.35	0 0	1.96	7.36	7.36	
11	70B 80	-296 -296	-749 789	0 0	0 0		4 -69		0 0				
12	80 90	-296 -296	-239 0	0 0	0 0		-69 0		0 0				

Imagen 41: valores de fuerzas sobre tuberias vacias(W) en coordenadas locales.

#	Node	Axial (N)	y Shear (N)	z Shear (N)	Torsion(Nm)		Inplane(Nm)		Outplane(Nm)		Flex. Factors			SL (MPa)
					Moment	SIF	Moment	SIF	Moment	SIF	FFI	FFo	FFt	
1	10 15	208 208	-8380 8301	59 -59	-157 -157		-2554 -1620	1.00	40 47	1.00				26.22 22.28
2	20A 20B	208 7666	8001 -208	-59 -59	-157 -65		1620 -718	2.35	-47 139	1.96	7.13	7.13		27.49 22.46
3	20B 30	7666 7361	-59 -59	208 208	-65 -65		-139 -113	1.00	-718 -628	1.00				20.13 19.67
4	40 50A	2709 718	-59 -59	208 208	-65 -65		-81 87	1.00	-511 81	1.00				18.15 16.04
5	50A 50B	718 208	208 -382	59 59	-65 104		-81 9	2.35	87 83	1.96	7.13	7.13		16.35 15.95
6	50B 55	208 208	-382 1114	59 59	104 104		9 -773		83 208					15.78 18.81
7	55 60A	0 0	-2022 -1946	-503 -503	104 104		-773 -556		208 153					18.76 17.82
8	60A 60B	0 -1610	-1946 0	-503 -503	104 0		-556 0	2.35	153 -258	1.96	7.13	7.13		19.63 16.63
9	60B 70A	-1610 -1598	503 503	0 0	0 0		-258 -266		0 0					16.12 16.16
10	70A 70B	-1598 -503	-503 1263	0 0	0 0		266 -2	2.35	0 0	1.96	7.13	7.13		17.01 15.29
11	70B 80	-503 -503	-1263 1327	0 0	0 0		2 -116		0 0					15.28 15.76
12	80 90	-503 -503	-403 0	0 0	0 0		-116 0		0 0					15.76 15.27

Imagen 43: valores de fuerzas sobre tuberias sostenidas (W+P) en coordenadas locales.



#	Node	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	10 15	142 -142	-1042 1042	-750 750	381 -498	-705 689	435 -435
2	20A 20B	142 -142	-1042 1042	-750 750	498 -587	-689 646	435 -391
3	20B 30	142 -142	-1042 1042	-750 750	587 -261	-646 646	391 -330
4	40 50A	142 -142	-1042 1042	-750 750	-158 2289	-646 646	250 154
5	50A 50B	142 -142	-1042 1042	-750 750	-2289 2200	-646 603	-154 197
6	50B 55	142 -142	-1042 1042	-750 750	-2200 -26	-603 299	-197 197
7	55 60A	722 -722	64 -64	0 0	26 -19	-299 220	-197 197
8	60A 60B	722 -722	64 -64	0 0	19 0	-220 0	-197 -22
9	60B 70A	722 -722	64 -64	0 0	0 0	0 0	22 -35
10	70A 70B	722 -722	64 -64	0 0	0 0	0 0	35 -235
11	70B 80	722 -722	64 -64	0 0	0 0	0 0	235 0
12	80 90	722 -722	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

Imagen 44: valores de fuerzas sobre tuberías por expansión (T1) en coordenadas globales.

#	Node	Axial (N)	y Shear (N)	z Shear (N)	Torsion(Nm)		Inplane(Nm)		Outplane(Nm)		Flex. Factors			SE (MPa)
					Moment	SIF	Moment	SIF	Moment	SIF	FFi	FFo	FFt	
1	10 15	-750 -750	1042 1042	-142 -142	435 435		-381 -498	1.00	705 689	1.00				3.433 3.591
2	20A 20B	-750 -1042	-1042 750	142 142	435 -646		498 587	2.35 2.35	-689 -391	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		6.810 6.370
3	20B 30	-1042 -1042	142 142	-750 -750	-646 -646		391 330	1.00	587 261	1.00				3.617 2.908
4	40 50A	-1042 -1042	142 142	-750 -750	-646 -646		250 -154	1.00	-158 -2289	1.00				2.665 8.837
5	50A 50B	-1042 -750	-1042 1042	-750 -750	-142 -197		2289 2200	2.35 2.35	-154 603	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		19.89 19.40
6	50B 55	-750 -750	1042 1042	-142 -142	-197 -197		2200 -26		603 299					8.448 1.421
7	55 60A	0 0	-64 -64	-722 -722	-197 -197		-26 -19		299 220					1.304 1.075
8	60A 60B	0 -64	-64 0	-722 -722	-197 -197		-19 0	2.35 2.35	220 -22	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		1.728 0.171
9	60B 70A	-64 -64	722 722	0 0	0 0		-22 -35		0 0					0.093 0.138
10	70A 70B	-64 -722	-722 64	0 0	0 0		35 235	2.35 2.35	0 0	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		0.308 2.141
11	70B 80	-722 -722	-64 -64	0 0	0 0		-235 0		0 0					0.987 0.133
12	80 90	-722 -722	0 0	0 0	0 0		0 0		0 0					0.133 0.133

Imagen 45: valores de fuerzas sobre tuberías por expansión (T1) en coordenadas locales.

#	Node	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	10 15	83 -83	7337 -7259	-542 542	2935 -2118	-745 736	278 -278
2	20A 20B	83 -83	6959 -6623	-542 542	2118 131	-736 711	278 -252
3	20B 30	83 -83	6623 -6319	-542 542	-131 366	-711 711	252 -216
4	40 50A	83 -83	1666 325	-542 542	-669 2207	-711 711	170 68
5	50A 50B	83 -83	-325 660	-542 542	-2207 2208	-711 685	-68 93
6	50B 55	83 -83	-660 2157	-542 542	-2208 -799	-685 507	-93 93
7	55 60A	1225 -1225	2086 -2010	0 0	799 -575	-507 373	-93 93
8	60A 60B	1225 -1225	2010 -1674	0 0	575 0	-373 -280	-93 -280
9	60B 70A	1225 -1225	1674 -1662	0 0	0 0	0 0	280 -301
10	70A 70B	1225 -1225	1662 -1327	0 0	0 0	0 0	301 -233
11	70B 80	1225 -1225	1327 1263	0 0	0 0	0 0	233 -116
12	80 90	1225 -1225	403 0	0 0	0 0	0 0	116 0

Imagen 46: valores de fuerzas en las tuberías en el momento de operación (W+P1+T1) en coordenadas globales

#	Node	Axial (N)	y Shear (N)	z Shear (N)	Torsion(Nm)		Inplane(Nm)		Outplane(Nm)		Flex. Factors			Sopr (MPa)
					Moment	SIF	Moment	SIF	Moment	SIF	FFi	FFo	FFt	
1	10 15	-542 -542	-7337 -7259	-83 -83	278 278		-2935 -2118	1.00	745 736	1.00				23.93 21.09
2	20A 20B	-542 6623	6959 542	83 83	278 -711		2118 -131	2.35 2.35	-736 -252	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		31.73 17.55
3	20B 30	6623 6319	83 83	-542 -542	-711 -711		252 216	1.00	-131 -366	1.00				16.99 17.16
4	40 50A	1666 -325	83 83	-542 -542	-711 -711		170 -68	1.00	-669 -2207	1.00				16.89 21.35
5	50A 50B	-325 -542	-542 660	-83 -83	-711 -93		2207 2208	2.35 2.35	-68 685	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		31.95 32.36
6	50B 55	-542 -542	660 2157	-83 -83	-93 -93		2208 -799		685 507					21.29 16.34
7	55 60A	0 0	-2086 -2010	-1225 -1225	-93 -93		-799 -575		507 373					16.44 15.50
8	60A 60B	0 -1674	-2010 0	-1225 -1225	-93 0		-575 0	2.35 2.35	373 -280	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		18.58 14.67
9	60B 70A	-1674 -1662	1225 1225	0 0	0 0		-280 -301		0 0					13.70 13.78
10	70A 70B	-1662 -1225	-1225 1327	0 0	0 0		301 233	2.35 2.35	0 0	1.96 1.96	7.13 7.13	7.13 7.13		15.25 14.75
11	70B 80	-1225 -1225	-1327 1263	0 0	0 0		-233 -116		0 0					13.61 13.19
12	80 90	-1225 -1225	-403 0	0 0	0 0		-116 0		0 0					13.19 12.77

Imagen 47: valores de fuerzas en las tuberías en el momento de operación (W+P1+T1) en coordenadas locales

#	Node	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	10	-286	-499	-1197	1902	-13	-94
	15	286	499	1197	-1958	45	94
2	20A	-246	-515	-1181	1958	-45	-94
	20B	246	515	1181	-1755	120	19
3	20B	-181	-531	-1133	1755	-120	-19
	30	181	531	1133	-1263	120	-60
4	40	147	-531	-805	672	-120	120
	50A	-147	531	805	-1615	120	296
5	50A	391	-547	-577	-1615	-120	-296
	50B	-391	547	577	1624	1	415
6	50B	582	-563	-561	-1624	-1	-415
	55	-582	563	561	421	-1242	415
7	55	749	23	-736	-421	1242	-415
	60A	-749	-23	736	424	-1324	415
8	60A	789	39	-720	-424	1324	-415
	60B	-789	-39	720	216	-1564	175
9	60B	822	55	-703	-216	1564	-175
	70A	-822	-55	703	204	-1564	161
10	70A	840	39	-669	-204	1564	-161
	70B	-840	-39	669	0	-1360	-83
11	70B	856	23	-361	0	1360	83
	80	-856	-23	361	0	-25	0
12	80	856	0	-43	0	25	0
	90	-856	0	43	0	0	0

Imagen 48: valores de fuerzas en las tuberías por la acción del viento (Wind) en coordenadas globales

#	Node	Axial (N)	y Shear (N)	z Shear (N)	Torsion(Nm)		Inplane(Nm)		Outplane(Nm)		Flex. Factors			SL+50 (MPa)
					Moment	SIF	Moment	SIF	Moment	SIF	FFI	FFo	FFt	
1	10	-1197	499	286	-94		-1902		13					42.33
	15	-1197	499	286	-94		-1958	1.00	45	1.00				30.82
2	20A	-1181	-515	-246	-94		1958	2.35	-45	1.96	7.13	7.13		27.68
	20B	-515	1181	-246	-120		1755	2.35	19	1.96	7.13	7.13		25.15
3	20B	-531	-181	-1133	-120		-19	60	1.755	1.00				21.19
	30	-531	-181	-1133	-120		60	1.00	1263	1.00				23.10
4	40	-531	147	-805	-120		120	1.00	672	1.00				28.63
	50A	-531	147	-805	-120		-296		-1615					28.28
5	50A	-547	-577	-391	-120		1615	2.35	-296	1.96	7.13	7.13		22.98
	50B	-577	547	-391	-415		1624	2.35	1	1.96	7.13	7.13		24.74
6	50B	-561	563	-582	-415		1624		-1242					24.73
	55	-561	563	-582	-415		421		-1324					24.10
7	55	-736	-23	-749	-415		421		-1242					28.75
	60A	-736	-23	-749	-415		424		-1324					23.52
8	60A	-720	-39	-789	-415		424	2.35	-1324	1.96	7.13	7.13		22.83
	60B	-39	720	-789	-1564		216	2.35	175	1.96	7.13	7.13		22.86
9	60B	-55	822	703	-1564		175		-216					23.95
	70A	-55	822	703	-1564		161		-204					23.93
10	70A	-39	-840	-669	-1564		-161	2.35	204	1.96	7.13	7.13		21.22
	70B	-840	39	-669	-1564		83	2.35	1360	1.96	7.13	7.13		16.05
11	70B	-856	-23	361	0		-83		-1360					16.05
	80	-856	-23	361	0		0		-25					15.46
12	80	-856	0	43	0		0		0					16.05
	90	-856	0	43	0		0		0					15.46

Imagen 49: valores de fuerzas en las por la acción del viento (Wind) en coordenadas locales

Las siguientes tablas son las fuerzas que se ejercen sobre la válvula en los diferentes casos de carga, solo se mostrarán coordenadas globales.

#	Node	Type	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	30	Valve	-35	5810	167	-514	-38	-67
	40	Valve	35	-1917	-167	421	38	47

Imagen 50: fuerzas sobre válvula vacía (W)

#	Node	Type	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	30	Valve	-59	7061	208	-628	-65	-113
	40	Valve	59	-3009	-208	511	65	81

Imagen 51: fuerzas sobre válvula sustentada (W+P)

#	Node	Type	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	30	Valve	142	-1042	-750	261	-646	330
	40	Valve	-142	1042	750	158	646	-250

Imagen 52: fuerzas sobre válvula en momento de expansión (T1)

#	Node	Type	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	30	Valve	83	6019	-542	-366	-711	216
	40	Valve	-83	-1967	542	669	711	-170

Imagen 53: fuerzas sobre válvula en operación (W+P1+T1)

#	Node	Type	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1	30	Valve	-107	-531	-1058	1263	-120	60
	40	Valve	107	531	1058	-672	120	-120

Imagen 54: fuerzas sobre la válvula por la acción del viento

4.2.7. Displacements

Este grupo de tablas nos mostrará los desplazamientos y deformaciones surgidas en el modelo.

Para ello nos muestra en la ventana principal una tabla separada por nodos con la deformación y giro que hay en cada punto. Y una ventana gráfica donde se puede ver las deformaciones en el modelo. Las deformaciones se separan por diferentes modos de carga.

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	-0.005	0.000	-0.0018	0.0000	0.0001
3	20A	0.000	-0.005	0.000	-0.0018	0.0000	0.0001
4	20B	0.004	-0.061	0.052	-0.0047	-0.0001	0.0015
5	30	0.016	-0.063	0.078	-0.0025	0.0001	0.0018
6	40	0.035	-0.064	0.099	-0.0018	0.0002	0.0019
7	50A	0.139	-0.067	0.013	0.0031	0.0015	0.0019
8	50B	0.133	-0.057	0.000	0.0015	0.0028	0.0004
9	55	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0046	-0.0012
10	60A	-0.009	0.000	0.000	-0.0004	0.0047	-0.0013
11	60B	-0.026	-0.018	-0.021	-0.0043	0.0048	-0.0031
12	70A	-0.025	-0.018	-0.022	-0.0043	0.0048	-0.0031
13	70B	0.000	-0.051	-0.070	-0.0043	0.0048	-0.0070
14	80	0.000	0.000	-0.379	-0.0043	0.0048	0.0082
15	90	0.000	0.081	-0.427	-0.0043	0.0048	0.0081

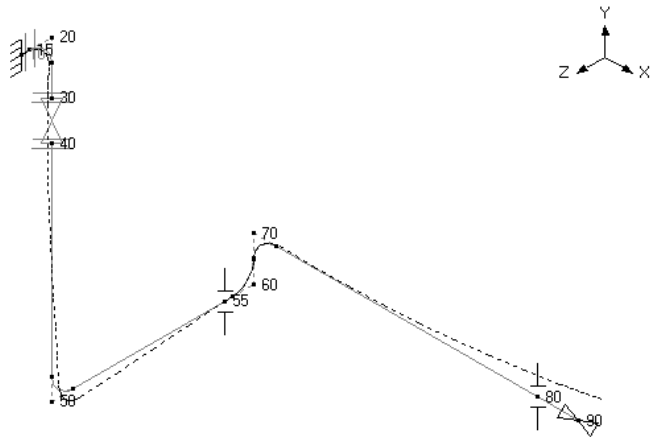


Imagen 52: tabla y representación grafica de deformaciones en estado de peso muerto (W)

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	-0.007	0.000	-0.0022	0.0000	0.0002
3	20A	0.000	-0.007	0.000	-0.0022	0.0000	0.0002
4	20B	0.006	-0.073	0.062	-0.0057	-0.0002	0.0025
5	30	0.028	-0.076	0.094	-0.0029	0.0002	0.0030
6	40	0.058	-0.077	0.118	-0.0021	0.0003	0.0032
7	50A	0.232	-0.081	0.014	0.0036	0.0025	0.0031
8	50B	0.223	-0.071	0.000	0.0017	0.0048	0.0007
9	55	0.000	0.000	0.000	-0.0006	0.0077	-0.0020
10	60A	-0.015	-0.003	0.000	-0.0013	0.0078	-0.0022
11	60B	-0.044	-0.033	-0.037	-0.0076	0.0080	-0.0052
12	70A	-0.043	-0.034	-0.040	-0.0076	0.0080	-0.0052
13	70B	0.000	-0.090	-0.123	-0.0076	0.0080	-0.0118
14	80	0.000	0.000	-0.641	-0.0076	0.0080	0.0138
15	90	0.000	0.137	-0.721	-0.0076	0.0080	0.0136

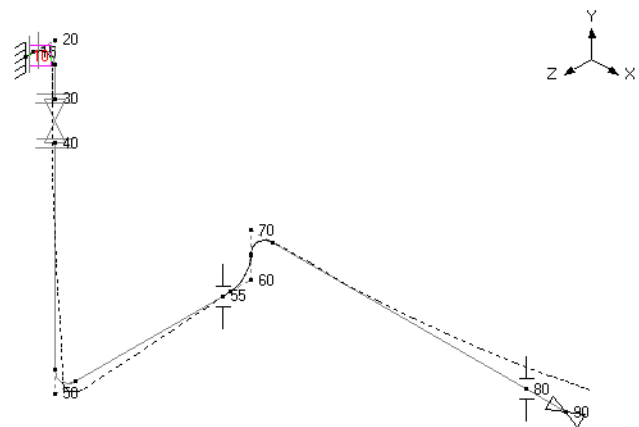


Imagen 53: tabla y representación grafica de deformaciones en estado de sostenido (W+P)

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	-0.100	-0.0005	0.0008	-0.0006
3	20A	0.000	0.000	-0.100	-0.0005	0.0008	-0.0006
4	20B	-0.089	-0.311	-0.305	-0.0202	0.0169	-0.0139
5	30	-0.201	-0.700	-0.143	-0.0219	0.0203	-0.0153
6	40	-0.352	-1.201	0.072	-0.0220	0.0214	-0.0157
7	50A	-1.211	-3.745	0.600	0.0105	0.0438	-0.0170
8	50B	-1.562	-3.708	0.127	0.0847	0.0540	-0.0190
9	55	-3.763	0.000	-1.786	0.1064	0.0630	-0.0138
10	60A	-3.883	0.203	-1.884	0.1063	0.0633	-0.0136
11	60B	-4.168	1.041	-1.592	0.1061	0.0664	-0.0113
12	70A	-4.165	1.056	-1.561	0.1061	0.0664	-0.0114
13	70B	-3.825	1.254	-1.349	0.1061	0.0664	-0.0167
14	80	-0.515	0.000	-5.634	0.1061	0.0664	-0.0208
15	90	0.000	-0.209	-6.301	0.1061	0.0664	-0.0208

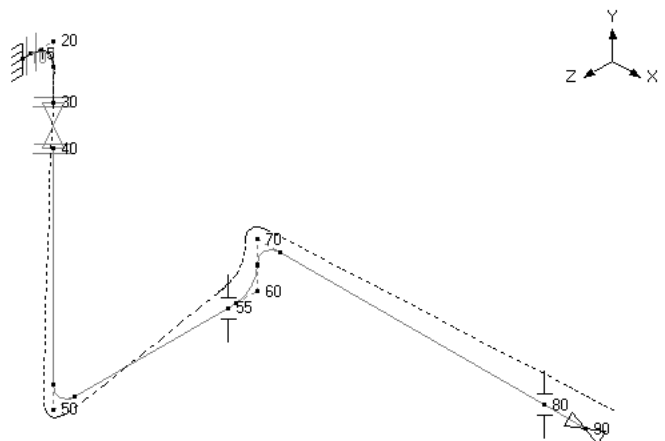


Imagen 54: tabla y representación grafica de deformaciones en el caso de la expansión (T1)

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	-0.007	-0.100	-0.0026	0.0008	-0.0004
3	20A	0.000	-0.007	-0.100	-0.0027	0.0008	-0.0004
4	20B	-0.083	-0.384	-0.243	-0.0258	0.0167	-0.0114
5	30	-0.173	-0.776	-0.049	-0.0248	0.0204	-0.0123
6	40	-0.295	-1.278	0.190	-0.0241	0.0217	-0.0126
7	50A	-0.979	-3.826	0.614	0.0141	0.0463	-0.0139
8	50B	-1.339	-3.779	0.127	0.0863	0.0588	-0.0183
9	55	-3.763	0.000	-1.786	0.1057	0.0707	-0.0159
10	60A	-3.898	0.200	-1.884	0.1050	0.0711	-0.0157
11	60B	-4.212	1.007	-1.630	0.0985	0.0745	-0.0165
12	70A	-4.207	1.023	-1.600	0.0985	0.0745	-0.0166
13	70B	-3.823	1.164	-1.472	0.0985	0.0745	-0.0285
14	80	-0.515	0.000	-6.275	0.0985	0.0745	-0.0069
15	90	0.000	-0.072	-7.022	0.0985	0.0745	-0.0071

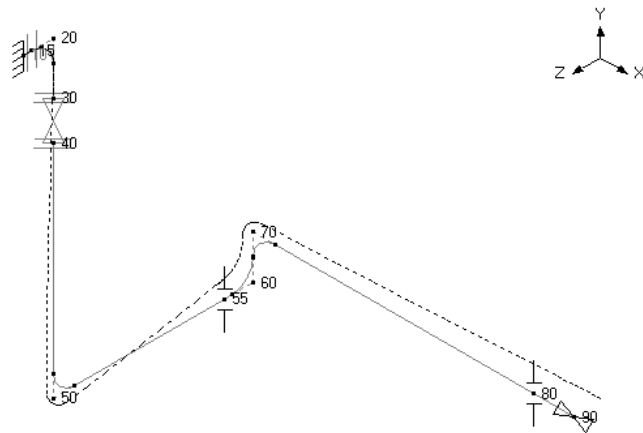


Imagen 55: tabla y representacion grafica de deformaciones en operacion (W+P1+T1)

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0020	0.0000	0.0001
3	20A	0.000	0.000	0.000	-0.0020	0.0000	0.0001
4	20B	0.000	-0.134	0.224	-0.0636	0.0010	0.0004
5	30	0.003	-0.134	0.733	-0.0698	0.0016	0.0003
6	40	0.005	-0.134	1.422	-0.0711	0.0018	0.0002
7	50A	0.025	-0.133	4.898	-0.0586	0.0060	0.0025
8	50B	0.028	-0.263	5.107	-0.0053	0.0040	0.0086
9	55	0.028	0.000	5.109	0.0151	-0.0084	0.0194
10	60A	0.045	0.029	5.109	0.0156	-0.0097	0.0199
11	60B	0.082	0.137	5.234	0.0268	-0.0342	0.0131
12	70A	0.078	0.137	5.242	0.0268	-0.0345	0.0131
13	70B	0.003	0.211	5.676	0.0412	-0.0627	0.0132
14	80	0.000	1.000	10.745	0.0412	-0.0866	0.0118
15	90	0.000	1.118	11.615	0.0412	-0.0867	0.0118

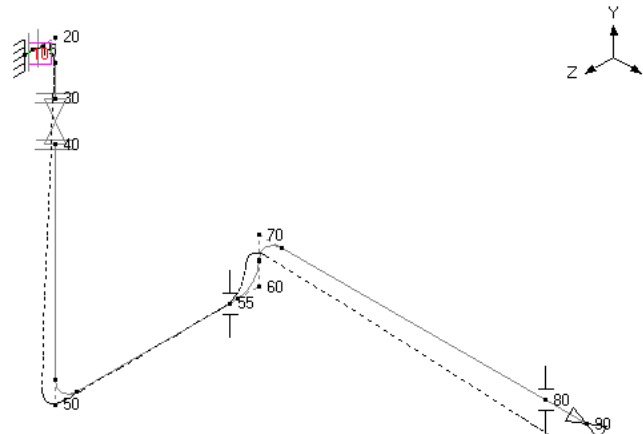


Imagen 56: tabla y representacion grafica de deformaciones por accion del viento (Wind)

4.2.8. Frecuencias

En este grupo el programa nos muestra las frecuencias naturales de nuestro modelo y como se comporta en cada una. Nos muestra una tabla con los datos mas importantes de cada modo, y la posibilidad de ver en la ventana grafica su comportamiento.

Lo idoneo para una linea es que su frecuencia menor este sobre los 2Hz, considerandose completamente rigida apartir de 8Hz. En este caso, el primer modo de vibracion es justo a los 2Hz.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass			
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	2.004	0.4990	0.2882	0.0312	-1.8612	0.0108	0.0001	0.4495	
2	3.516	0.2844	-0.5712	0.0563	-1.3272	0.0423	0.0004	0.2286	
3	7.318	0.1367	-1.5549	-0.0355	0.1454	0.3137	0.0002	0.0027	
4	22.765	0.0439	-0.0121	0.5328	-1.2724	0.0000	0.0368	0.2101	
5	23.936	0.0418	-1.2577	0.0403	0.0218	0.2052	0.0002	0.0001	
6	31.209	0.0320	0.1220	0.1431	0.2931	0.0019	0.0027	0.0111	
7	41.259	0.0242	-0.8792	-0.2810	0.0289	0.1003	0.0102	0.0001	
8						Total	0.6743	0.0506	0.9022

Imagen 57: tabla con las frecuencias naturales del modelo

4.2.9. Mode Shapes

En este apartado tenemos los diferentes modos de vibración vistos en el apartado anterior, separados uno por uno con los valores de cada nodo. También se acompaña de una animación o visión general del comportamiento del modelo en la ventana gráfica.

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	0.0027	0.0006	0.0031
3	20A	0.000	0.000	0.000	0.0027	0.0006	0.0031
4	20B	0.096	0.177	-0.297	0.0850	-0.0033	0.0376
5	30	0.413	0.177	-0.978	0.0936	0.0014	0.0453
6	40	0.866	0.177	-1.903	0.0957	0.0030	0.0475
7	50A	3.687	0.175	-6.675	0.0814	0.0337	0.0574
8	50B	3.700	0.358	-6.968	0.0076	0.0582	0.0365
9	55	0.990	0.000	-6.969	-0.0207	0.0915	0.0163
10	60A	0.814	-0.040	-6.970	-0.0212	0.0938	0.0152
11	60B	0.089	-0.184	-7.134	-0.0349	0.1332	0.0223
12	70A	0.082	-0.184	-7.145	-0.0349	0.1337	0.0222
13	70B	0.000	-0.122	-8.210	-0.0573	0.1790	0.0066
14	80	0.000	0.000	-21.450	-0.0573	0.2186	-0.0004
15	90	0.000	-0.004	-23.645	-0.0573	0.2187	-0.0004

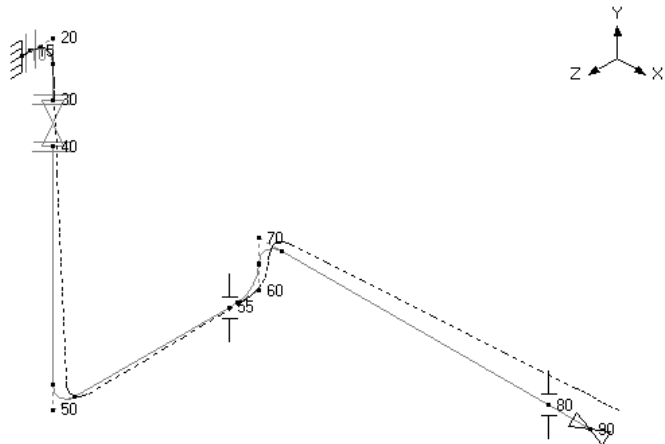


Imagen 58: valores para el modo de vibración primero 2Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.004	0.000	0.0049	-0.0013	-0.0064
3	20A	0.000	0.004	0.000	0.0049	-0.0013	-0.0064
4	20B	-0.190	0.330	-0.555	0.1583	0.0053	-0.0753
5	30	-0.825	0.329	-1.822	0.1738	-0.0047	-0.0908
6	40	-1.733	0.329	-3.537	0.1771	-0.0081	-0.0949
7	50A	-7.340	0.324	-12.184	0.1446	-0.0734	-0.1144
8	50B	-7.337	0.633	-12.692	0.0099	-0.1222	-0.0749
9	55	-1.848	0.000	-12.694	-0.0293	-0.1764	-0.0398
10	60A	-1.509	-0.056	-12.694	-0.0292	-0.1798	-0.0380
11	60B	-0.162	-0.209	-12.847	-0.0287	-0.2329	-0.0422
12	70A	-0.150	-0.209	-12.856	-0.0287	-0.2336	-0.0420
13	70B	0.000	-0.310	-11.544	0.0002	-0.2987	-0.0068
14	80	0.000	0.000	10.319	0.0002	-0.3595	0.0105
15	90	0.000	0.106	13.928	0.0002	-0.3597	0.0105

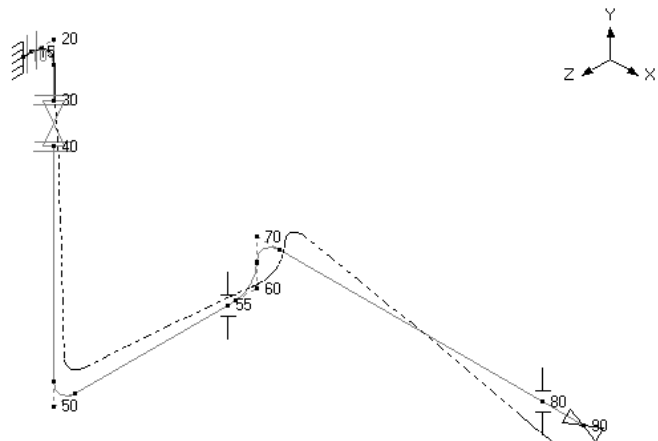


Imagen 59: valores para el modo de vibración segundo 3,52Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	-0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0014	-0.0046	-0.0191
3	20A	0.000	0.000	0.000	-0.0014	-0.0046	-0.0191
4	20B	-0.492	-0.095	0.158	-0.0441	-0.0035	-0.2117
5	30	-2.277	-0.095	0.510	-0.0475	-0.0398	-0.2538
6	40	-4.809	-0.094	0.977	-0.0479	-0.0521	-0.2638
7	50A	-20.253	-0.093	3.074	-0.0316	-0.2897	-0.3294
8	50B	-20.003	-0.146	3.174	0.0006	-0.4127	-0.2684
9	55	-4.105	0.000	3.172	0.0017	-0.3887	-0.2712
10	60A	-3.368	0.003	3.172	0.0009	-0.3797	-0.2714
11	60B	-0.749	-0.046	3.081	-0.0256	-0.1783	-0.1614
12	70A	-0.700	-0.046	3.073	-0.0257	-0.1759	-0.1611
13	70B	-0.030	-0.533	3.113	-0.1258	0.0383	-0.0424
14	80	-0.004	0.000	-7.652	-0.1258	0.2322	0.0332
15	90	0.000	0.333	-9.988	-0.1258	0.2329	0.0332

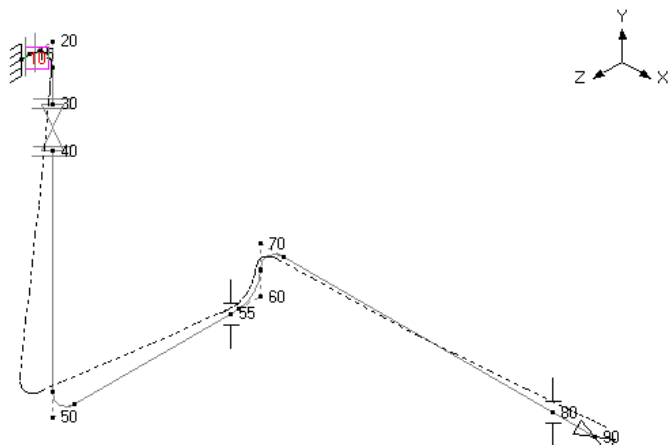


Imagen 60: valores para el modo de vibracion tercero 7,32Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.065	-0.012	0.0458	0.0004	-0.0007
3	20A	0.000	0.065	-0.012	0.0458	0.0004	-0.0007
4	20B	-0.048	2.466	-3.510	0.7374	0.0057	-0.0071
5	30	-0.104	2.480	-9.002	0.6173	0.0051	-0.0064
6	40	-0.162	2.483	-14.629	0.5168	0.0049	-0.0054
7	50A	0.027	2.497	-0.973	-0.6202	0.0010	0.0093
8	50B	0.088	0.439	1.841	-0.1973	-0.0014	0.0123
9	55	0.147	0.000	1.905	0.1863	-0.0014	0.0146
10	60A	0.149	0.380	1.908	0.2072	-0.0013	0.0147
11	60B	0.073	2.608	4.851	0.6830	-0.0009	0.0154
12	70A	0.069	2.609	5.056	0.6843	-0.0009	0.0154
13	70B	0.000	2.643	8.980	0.7379	0.0515	-0.0128
14	80	0.000	0.000	-0.315	0.7379	0.1944	-0.0560
15	90	0.000	-0.565	-2.278	0.7379	0.1959	-0.0564

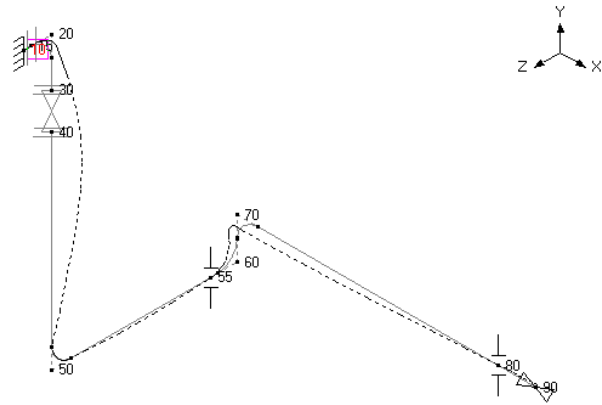


Imagen 61: valores para el modo de vibracion cuarto 22,76 Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	-0.0000
2	15	-0.118	0.000	0.000	-0.0010	0.0425	-0.0690
3	20A	-0.118	0.000	0.000	-0.0010	0.0425	-0.0690
4	20B	-4.670	-0.050	0.067	-0.0131	0.5715	-0.6527
5	30	-9.718	-0.051	0.163	-0.0103	0.5203	-0.5660
6	40	-14.862	-0.051	0.256	-0.0083	0.5029	-0.4650
7	50A	4.687	-0.053	-0.072	0.0117	0.1677	0.8135
8	50B	8.494	-0.029	-0.113	0.0005	0.0772	0.8268
9	55	6.084	0.000	-0.114	0.0048	0.0751	0.6738
10	60A	5.934	0.011	-0.114	0.0054	0.0778	0.6659
11	60B	2.324	0.062	-0.056	0.0114	0.0311	0.5230
12	70A	2.168	0.062	-0.052	0.0114	0.0309	0.5215
13	70B	0.050	1.608	-0.087	0.0203	0.0105	0.1366
14	80	0.007	0.000	0.061	0.0203	-0.0089	-0.1067
15	90	0.000	-1.078	0.152	0.0203	-0.0090	-0.1075

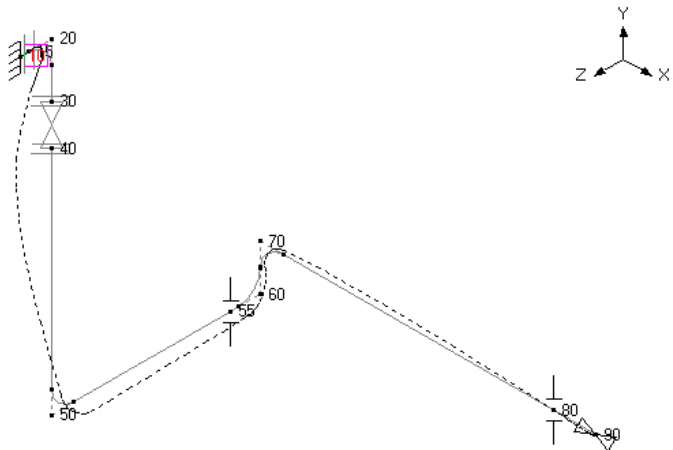


Imagen 62: valores para el modo de vibracion quinto 23,94 Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.008	-0.088	0.005	-0.0363	-0.0030	0.0034
3	20A	0.008	-0.088	0.005	-0.0363	-0.0030	0.0034
4	20B	0.267	-1.454	1.557	-0.2014	-0.0353	0.0279
5	30	0.472	-1.491	2.842	-0.0973	-0.0333	0.0189
6	40	0.627	-1.503	3.539	-0.0396	-0.0326	0.0117
7	50A	-0.597	-1.657	-10.284	0.2625	-0.0191	-0.0086
8	50B	-0.152	-2.310	-10.360	-0.2140	-0.0585	0.0856
9	55	2.214	0.000	-10.246	0.6738	-0.0740	0.2232
10	60A	2.353	1.409	-10.237	0.7630	-0.0760	0.2302
11	60B	1.516	10.019	1.106	2.6227	-0.1114	0.2668
12	70A	1.436	10.020	1.895	2.6275	-0.1125	0.2672
13	70B	0.046	11.162	17.849	2.8729	-0.0101	0.0584
14	80	0.006	0.000	-0.355	2.8729	0.4452	-0.2987
15	90	0.000	-3.029	-4.873	2.8729	0.4511	-0.3024

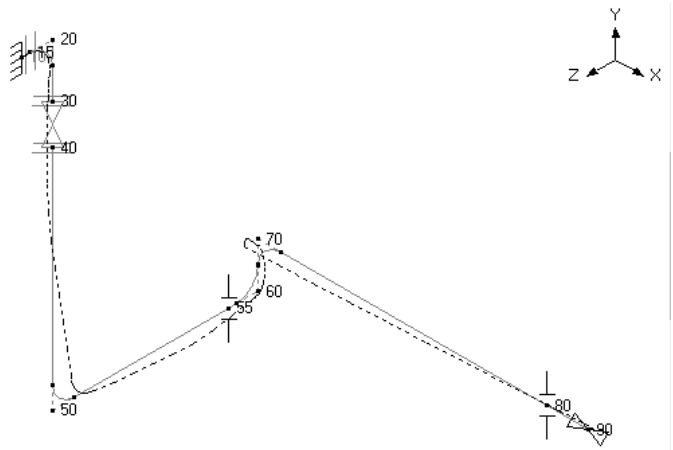


Imagen 63: valores para el modo de vibracion sexto 31,12 Hz

#	Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	-0.058	-0.013	0.000	-0.0052	0.0274	-0.0107
3	20A	-0.058	-0.013	0.000	-0.0052	0.0274	-0.0107
4	20B	-1.823	-0.203	0.208	-0.0213	0.3156	-0.0843
5	30	-2.304	-0.209	0.326	-0.0030	0.3444	0.0019
6	40	-2.058	-0.210	0.313	0.0067	0.3542	0.0526
7	50A	7.471	-0.224	-2.400	0.0441	0.5426	-0.0965
8	50B	-0.101	-0.270	-2.420	-0.0106	0.9531	-1.0243
9	55	-27.898	0.000	-2.362	0.0386	0.3376	-2.1603
10	60A	-28.424	0.049	-2.358	0.0463	0.2844	-2.2184
11	60B	-13.943	1.223	-0.261	0.5970	-0.3340	-2.6622
12	70A	-13.137	1.222	-0.080	0.5993	-0.3331	-2.6609
13	70B	-0.794	-8.440	5.081	0.6571	-0.1475	-0.9241
14	80	-0.107	0.000	-0.142	0.6571	0.2090	0.6982
15	90	0.000	7.136	-2.280	0.6571	0.2138	0.7135

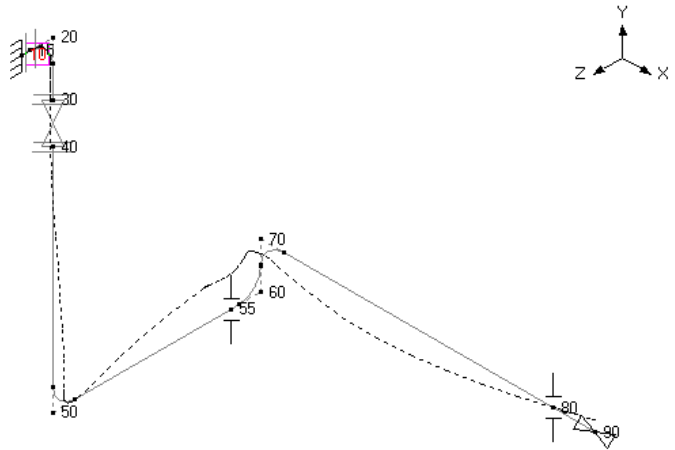


Imagen 64: valores para el modo de vibración septimo 40,98 Hz

5. Simulación línea 4-C30-10"

Como en el apartado anterior se explicó en profundidad como se diseñaba una línea en CaePipe, por lo que a partir de ahora solamente se añadirán los valores nuevos y diferentes de las líneas.

5.1. Modelado de la línea en CaePipe

Los datos de la línea se encuentran en la "Memoria descriptiva", apartado "5.4.4. Línea 4" y son:

- Diámetro de 10 pulgadas, clase #300 y Schedule STD.
- Temperatura → 125°F (51,7°C)
- Presión desconocida → 20 bar

La presión de esta línea no se recoge en los P&ID, por lo que habrá que estimarla. Teniendo en cuenta que se suelen anotar las más altas en este tipo de documentos, se estimara una presión de diseño de 20 bares acorde a su clase y diámetro.

El primer paso será crear las condiciones del modelo.

Lo primero que declaramos es el material que será el mismo para todas las tuberías, A53-B. La forma de seleccionarlo será igual que en la línea anterior.

El siguiente parámetro que hay que declarar es el diámetro y Schedule de la tubería.

Imagen 65: selección de diámetro línea 4-C30-10"

Y el ultimo parámetro serán las cargas. Tenemos unas condiciones de diseño de temperatura de 52°C y una presión de 15 Bar. Y unas condiciones de diseño estimadas de 70 °C y 20 bar.

Imagen 66: selección del ambiente de trabajo

El siguiente valor que tenemos que definir es el viento como se ha explicado anteriormente.

Cuando ya tenemos definidas estas tres variables, modelamos la línea respecto a las distancias que se marcan en la digitalización y en los planos de diseño. Y para los valores de los accesorios, utilizaremos la biblioteca del programa PipeDataPro.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 4-C30-10"								
2	10	From	-143.7		143.7				Anchor
3	15		-83.44		87.44	A53	10	1	Flange
4	20	Bend	-360		360	A53	10	1	
5	30	Bend		-9286.8		A53	10	1	
6	40	Bend	-1510.13			A53	10	1	
7	50				3034.13	A53	10	1	Limit stop
8	60	Bend			836.6	A53	10	1	
9	70			-1215.9		A53	10	1	
10	80			-118		A53	10	1	Flange
11	90			-78		A53	10	1	Anchor

Imagen 67: programación completa de la línea 4-C30-10" en CaePipe



Imagen 68: representación en 3D del modelo

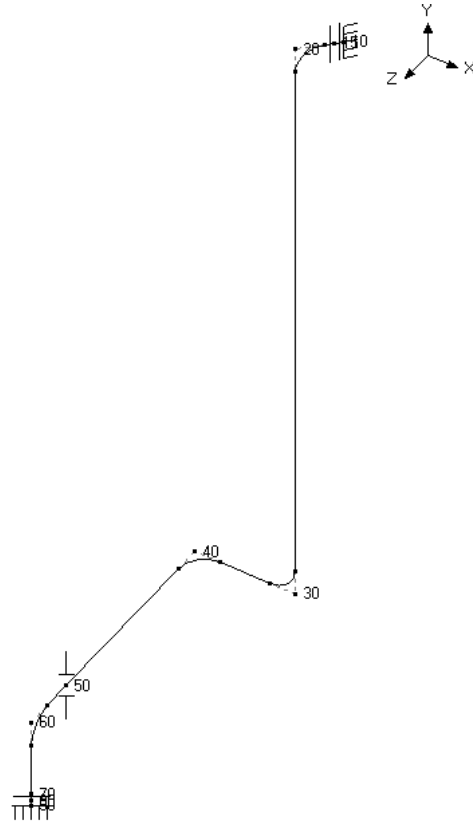


Imagen 69: representación a una línea y de los nodos del modelo 4-C30-10"

Las bridas (flanges) de los nodos 15 y 80 son iguales, 2 WeldNeck de 10 pulgadas clase 300.

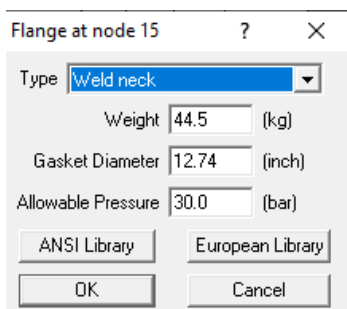
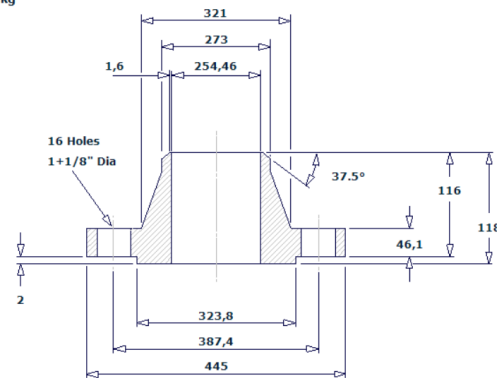


Imagen 70: declaración brida CaePipe

10" NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 44,5 kg
S/Bolts and Nuts = 16,25 kg



StudBolt Size : 1" UNC (or M27) x 160 Long

ASME B16.5-2017

Imagen 71: valores brida WeldNeck obtenidos de PipeDataPro

Los valores de todos los accesorios existentes en el proyecto se encuentran en el Anejo "Datos físicos y geométricos".



5.2. Resultados del modelo

En el apartado 4.2. de este documento, se explicó detalladamente todos los resultados que nos ofrece el programa CaePipe de nuestro modelo. Para el resto de líneas solo se van a comentar los resultados más importantes y significativos de cada modelo. Y al final de este anejo se añadirán los análisis completos de cada línea exportados de CaePipe

Estos resultados serán:

- Sorted stresses → Análisis de tensiones
- Support load summary → Fuerzas sobre soportes
- Displacements → Desplazamientos
- Frequencies → Frecuencias

5.2.1. Análisis de tensiones

En este apartado podemos ver como se reparten las tensiones a lo largo de la línea y cuáles son los puntos más desfavorables. Como se puede apreciar en la representación tensional, el punto más delicado es la unión de la línea con la torre de fraccionamiento, donde se llega a un valor de 12,3 MPa, muy por debajo del límite que establece el ASME B31.3 para esta línea de 183,4 MPa en estado ocasional.

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	10	23.35	137.9	0.17	60A	13.27	206.8	0.06	20A	27.94	183.4	0.15
2	20A	22.81	137.9	0.17	30A	9.353	206.8	0.05	10	27.77	183.4	0.15
3	15	20.35	137.9	0.15	60B	7.773	206.8	0.04	60A	25.76	183.4	0.14
4	50	17.90	137.9	0.13	40B	6.159	206.8	0.03	15	24.84	183.4	0.14
5	20B	17.03	137.9	0.12	50	5.271	206.8	0.03	50	23.63	183.4	0.13
6	60A	15.42	137.9	0.11	90	5.061	206.8	0.02	20B	22.81	183.4	0.12
7	30A	15.08	137.9	0.11	30B	4.903	206.8	0.02	60B	21.24	183.4	0.12
8	60B	13.88	137.9	0.10	80	4.531	206.8	0.02	90	21.19	183.4	0.12
9	90	13.08	137.9	0.09	40A	4.227	206.8	0.02	80	21.04	183.4	0.11
10	80	13.06	137.9	0.09	20B	4.146	206.8	0.02	70	20.78	183.4	0.11
11	70	12.96	137.9	0.09	70	3.749	206.8	0.02	30A	20.05	183.4	0.11
12	30B	12.69	137.9	0.09	20A	2.127	206.8	0.01	30B	17.23	183.4	0.09
13	40A	12.42	137.9	0.09	15	0.812	206.8	0.00	40A	15.29	183.4	0.08
14	40B	12.01	137.9	0.09	10	0.710	206.8	0.00	40B	13.84	183.4	0.08

Imagen 72: resultados tensionales del modelo 4-C30-10”

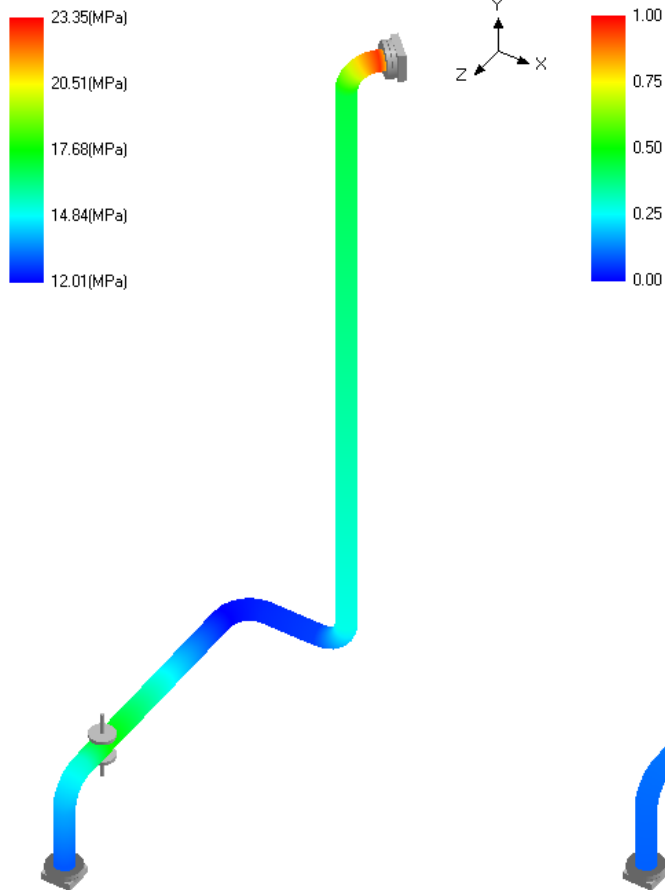


Imagen 73: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 4-C30-10"

Imagen 74: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 4-C30-10"

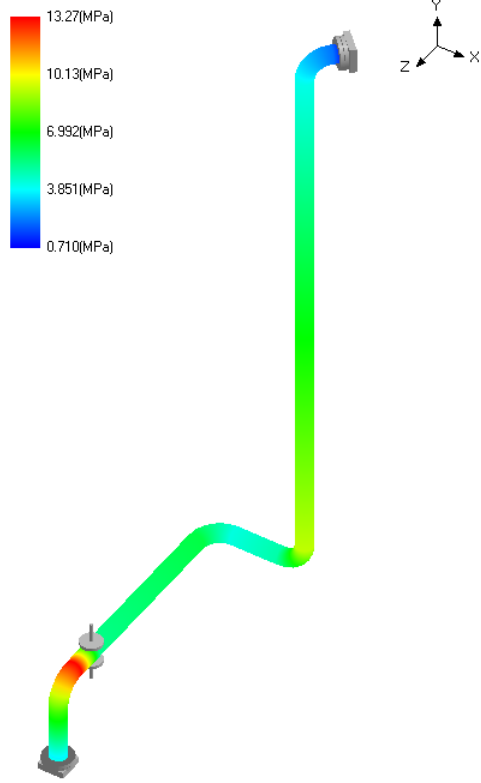


Imagen 75: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 4-C30-10"

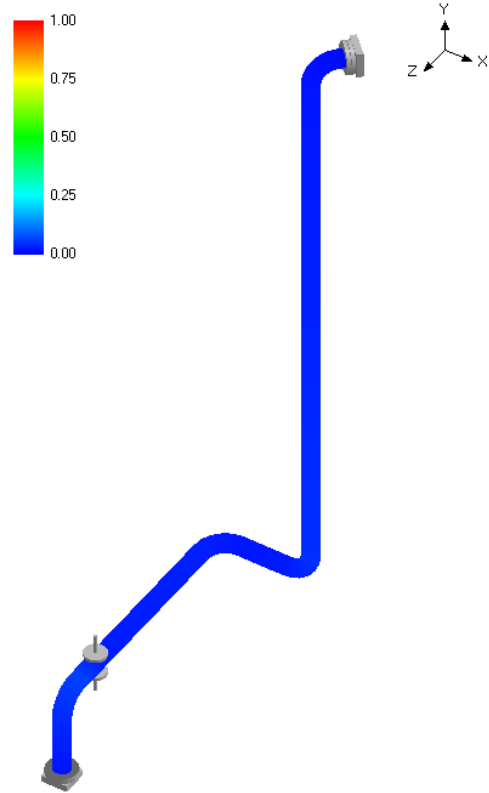


Imagen 76: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 4-C30-10"

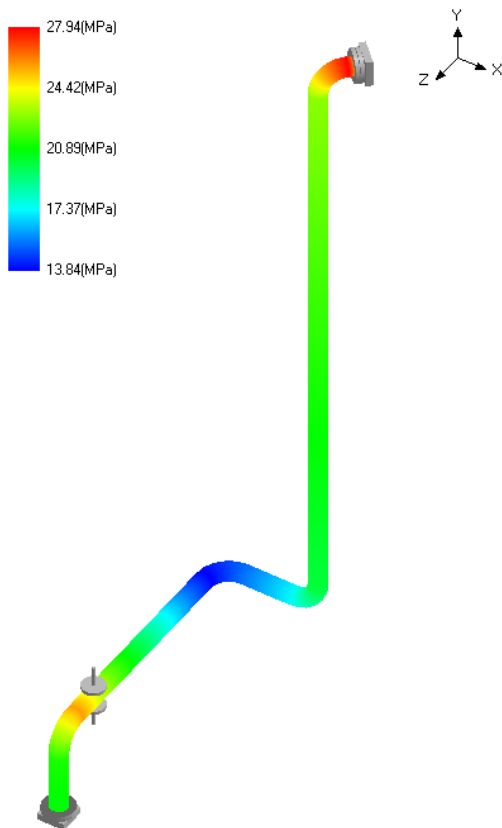


Imagen 77: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 4-C30-10"

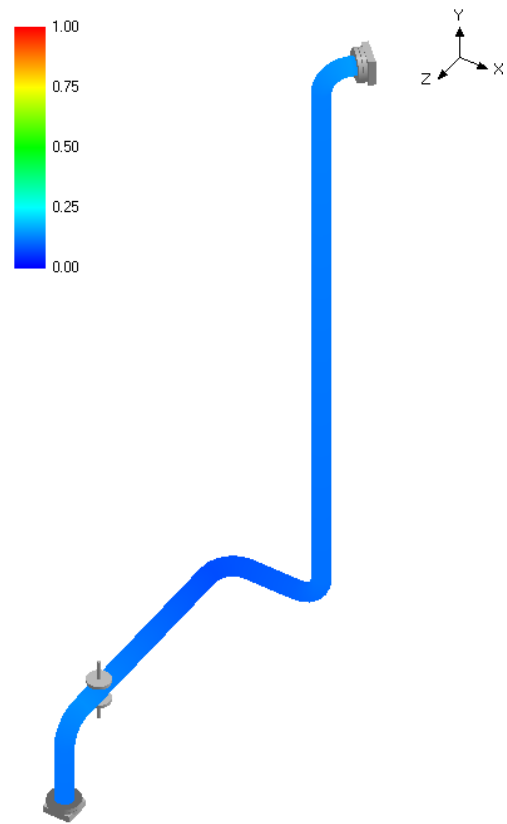


Imagen 78: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 4-C30-10"

5.2.2. Cargas sobre los soportes

En este apartado nos interesa las fuerzas que transmiten los diferentes anclajes al equipo o estructura que les soporta.

El primer informe es la conexión a la torre de fraccionamiento en el nodo 10.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-124	-7143	40	2495	-75	2363	0.000	0.000	0.000
Sustained	-219	-12245	69	4370	-134	4134	0.000	0.000	0.000
Operating1	-54	-10915	-217	4580	-336	3969	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	1007	-12190	1146	3196	-422	5930	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	1173	-10860	860	3406	-624	5765	0.000	0.000	0.000
Maximum	1173	-7143	1146	4580	-75	5930	0.000	0.000	0.000
Minimum	-219	-12245	-217	2495	-624	2363	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 79: fuerzas en la unión entre la torre de fraccionamiento y la línea 4-C30-10"

La otra unión a equipo se encuentra en el nodo 90 conectando la línea con el intercambiador E-102

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-39	1258	-471	-290	-248	369	0.000	0.000	0.000
Sustained	-71	2518	-817	-499	-435	654	0.000	0.000	0.000
Operating1	-308	1914	2745	1841	-18	93	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	1375	2733	413	756	-4018	-493	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	1138	2129	3976	3095	-3601	-1055	0.000	0.000	0.000
Maximum	1375	2733	3976	3095	-18	654	0.000	0.000	0.000
Minimum	-308	1258	-817	-499	-4018	-1055	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 80: valores de fuerzas para la unión entre la línea 4-C30-10" y el intercambiador E-102

El siguiente valor es la carga que transmite la línea al apoyar en el soporte largo Ñ. Este apoyo se da en el nodo 50.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-4463	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-7823	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-8549	2565	0.043	0.000	-0.300
Sustained+Wind	-8093	81	0.794	0.000	0.055
Operating1+Wind	-8818	2645	0.837	0.000	-0.245
Maximum	-4463	2645	0.837	0.000	0.055
Minimum	-8818	0	0.000	0.000	-0.300

Imagen 81: valores de fuerzas sobre el soporte largo Ñ

5.2.3. Desplazamientos

Este apartado es muy interesante para verificar que la línea se mantiene en su posición y que los desplazamientos son mínimos.

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	-0.005	0.000	0.0011	0.0000	0.0011
3	20A	0.000	-0.012	0.000	0.0020	-0.0001	0.0018
4	20B	0.040	-0.078	-0.052	0.0053	-0.0010	0.0038
5	30A	0.166	-0.098	0.045	-0.0045	-0.0027	0.0043
6	30B	0.221	-0.170	0.061	-0.0054	-0.0028	0.0133
7	40A	0.220	-0.346	0.024	-0.0058	-0.0030	0.0132
8	40B	0.194	-0.373	0.000	-0.0089	-0.0045	0.0093
9	50	0.000	0.000	0.000	-0.0032	-0.0032	0.0048
10	60A	-0.023	0.010	0.000	-0.0009	-0.0027	0.0040
11	60B	-0.014	0.000	-0.007	-0.0002	-0.0014	0.0015
12	70	0.000	0.000	0.000	-0.0002	-0.0003	0.0003
13	80	0.000	0.000	0.000	-0.0001	-0.0001	0.0001
14	90	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

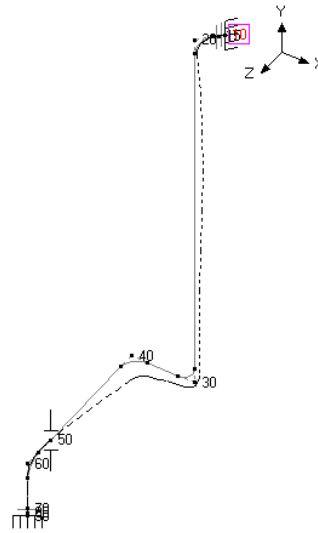


Imagen 82: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	-0.008	0.000	0.0020	-0.0001	0.0018
3	20A	0.000	-0.021	0.000	0.0035	-0.0001	0.0032
4	20B	0.070	-0.135	-0.090	0.0092	-0.0018	0.0065
5	30A	0.291	-0.170	0.081	-0.0079	-0.0049	0.0077
6	30B	0.387	-0.296	0.108	-0.0095	-0.0049	0.0232
7	40A	0.387	-0.603	0.042	-0.0101	-0.0053	0.0231
8	40B	0.340	-0.650	0.000	-0.0155	-0.0079	0.0164
9	50	0.000	0.000	0.000	-0.0055	-0.0056	0.0083
10	60A	-0.041	0.018	0.000	-0.0015	-0.0047	0.0069
11	60B	-0.025	0.000	-0.011	-0.0003	-0.0025	0.0027
12	70	0.000	0.000	0.000	-0.0003	-0.0005	0.0005
13	80	0.000	0.000	0.000	-0.0002	-0.0002	0.0002
14	90	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

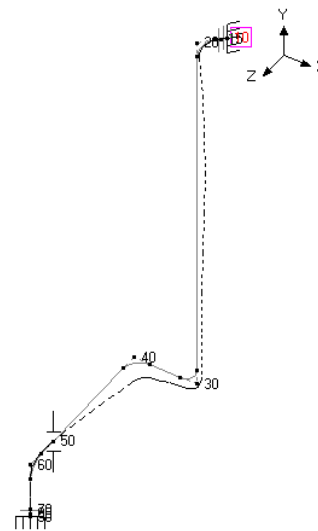


Imagen 83: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	-0.029	0.000	0.030	0.0002	-0.0001	-0.0001
3	20A	-0.060	0.000	0.061	0.0004	-0.0002	-0.0001
4	20B	-0.136	-0.156	0.098	0.0121	-0.0035	0.0062
5	30A	0.505	-3.085	-1.398	-0.0067	-0.0105	-0.0061
6	30B	0.284	-3.092	-1.317	-0.0269	-0.0020	-0.0242
7	40A	0.026	-2.767	-1.342	-0.0345	-0.0018	-0.0245
8	40B	-0.099	-2.327	-1.213	-0.0491	0.0026	-0.0260
9	50	0.043	0.000	-0.300	-0.0443	0.0026	-0.0130
10	60A	0.062	0.336	-0.144	-0.0399	0.0021	-0.0108
11	60B	0.024	0.355	0.056	0.0022	0.0024	-0.0030
12	70	0.000	0.067	0.005	0.0016	0.0005	-0.0005
13	80	0.000	0.027	0.000	0.0007	0.0002	-0.0002
14	90	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

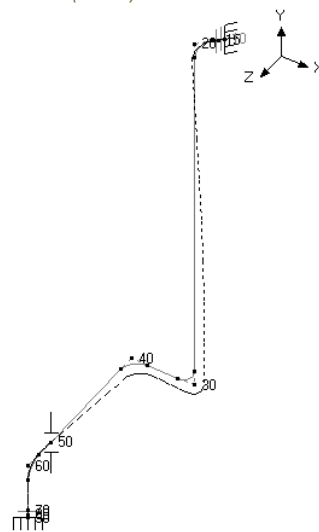


Imagen 84: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	-0.029	-0.007	0.030	0.0021	-0.0002	0.0018
3	20A	-0.061	-0.021	0.061	0.0039	-0.0003	0.0031
4	20B	-0.067	-0.291	0.009	0.0213	-0.0053	0.0128
5	30A	0.796	-3.255	-1.317	-0.0146	-0.0153	0.0016
6	30B	0.671	-3.388	-1.208	-0.0364	-0.0069	-0.0010
7	40A	0.413	-3.371	-1.300	-0.0446	-0.0070	-0.0015
8	40B	0.241	-2.977	-1.213	-0.0645	-0.0053	-0.0097
9	50	0.043	0.000	-0.300	-0.0499	-0.0030	-0.0047
10	60A	0.021	0.354	-0.144	-0.0413	-0.0026	-0.0038
11	60B	0.000	0.357	0.045	0.0019	-0.0001	-0.0003
12	70	0.000	0.068	0.004	0.0013	0.0000	0.0000
13	80	0.000	0.027	0.000	0.0006	0.0000	0.0000
14	90	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

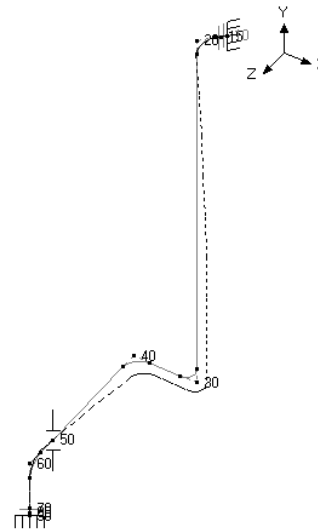


Imagen 85: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0008	-0.0002	0.0012
3	20A	0.000	0.000	0.000	-0.0017	-0.0005	0.0024
4	20B	0.069	-0.026	0.010	-0.0062	-0.0016	0.0196
5	30A	4.529	-0.026	1.957	-0.0129	-0.0602	0.0256
6	30B	4.652	-0.116	1.565	-0.0036	-0.0743	0.0074
7	40A	4.652	-0.196	0.576	-0.0031	-0.0765	0.0049
8	40B	4.130	-0.169	0.056	-0.0051	-0.0776	-0.0027
9	50	0.794	0.000	0.055	-0.0016	-0.0617	-0.0129
10	60A	0.323	0.010	0.055	-0.0009	-0.0562	-0.0147
11	60B	0.031	0.000	0.037	0.0029	-0.0203	-0.0019
12	70	0.000	0.000	0.000	0.0009	-0.0039	-0.0008
13	80	0.000	0.000	0.000	0.0004	-0.0015	-0.0004
14	90	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

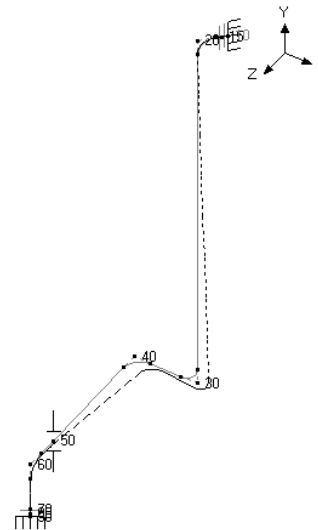


Imagen 86: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-4"

5.2.4. Frecuencias

En este apartado hay que comprobar que la frecuencia mínima de la línea se de 2Hz. Esta restricción no aparece en ninguna norma escrita, pero es una recomendación de los diseñadores con más experiencia.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	3.185	0.3140	2.1388	-0.0458	0.5213	0.4480	0.0002	0.0266
2	9.298	0.1076	0.7479	-0.0033	-1.8614	0.0548	0.0000	0.3393
3	20.035	0.0499	0.1385	1.3658	0.0313	0.0019	0.1827	0.0001
4	35.638	0.0281	0.5292	-0.0932	1.5929	0.0274	0.0009	0.2485
5					Total	0.5321	0.1837	0.6146

Imagen 87: modos de vibración de la línea 4-C30-10"

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el primer modo se encuentra en 3,185Hz superando el mínimo aconsejado.

6. Simulación línea 5-C30-8"

6.1. Modelado de la línea en CaePipe

Los datos de la se pueden encontrar en la memoria descriptiva, en el apartado "5.4.5. Línea 5" y también se muestran a continuación:

- Material → A53 Grado B
- Diámetro → 8 pulgadas
- Clase → 300#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → 118°F (47,8°C)
- Temperatura de diseño → 1342,4°F (72,8°C)
- Presión de operación → (desconocida) 20 bar
- Presión de diseño → 22 bar

Ahora que ya tenemos todos los datos de la línea, comenzaremos declarando el material y la sección de la línea, como se ha realizado anteriormente.

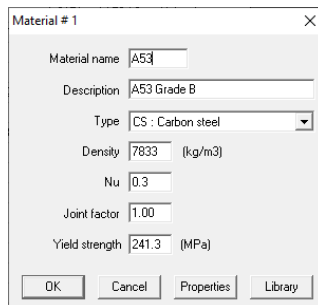


Imagen 88: selección de material para línea 5-C30-8"

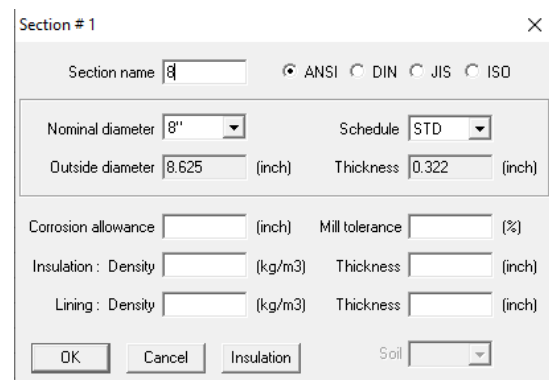


Imagen 89: elección del diámetro y su Schedule

Y por último es necesario declarar las condiciones de trabajo para el momento de operación y el de diseño.

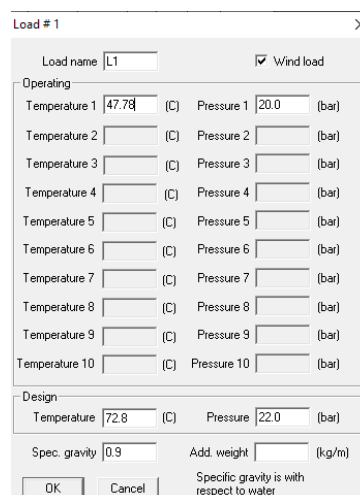


Imagen 90: condiciones de trabajo para la línea 5-C30-8"

Ahora que ya tenemos declarado el entorno de trabajo, realizamos la programación del modelo.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 5-C30-8"								
2	10	From							Anchor
3	20			-112		A53	8	L1	Flange
4	30	Bend		-305		A53	8	L1	
5	40	Bend			-2171	A53	8	L1	
6	50	Bend		-1250		A53	8	L1	
7	60		609.6			A53	8	L1	Limit stop
8	70	Bend	863.6			A53	8	L1	
9	80	Bend		-2640		A53	8	L1	
10	90	Bend			-750	A53	8	L1	
11	100			305		A53	8	L1	
12	110			112		A53	8	L1	Flange
13	120			100		A53	8	L1	Anchor

Imagen 91: configuración del modelo de la línea 5-C30-8"

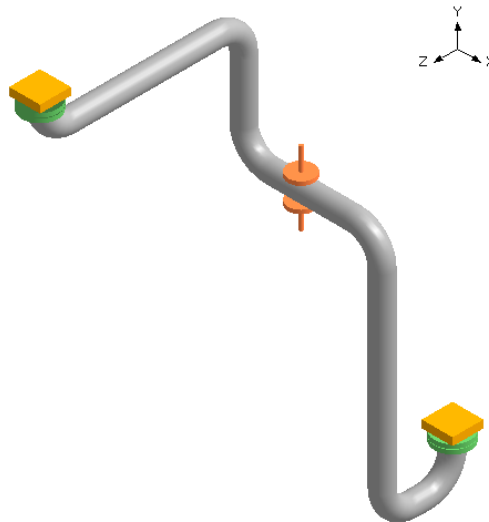


Imagen 92: representación del modelo 5-C30-8" en 3D

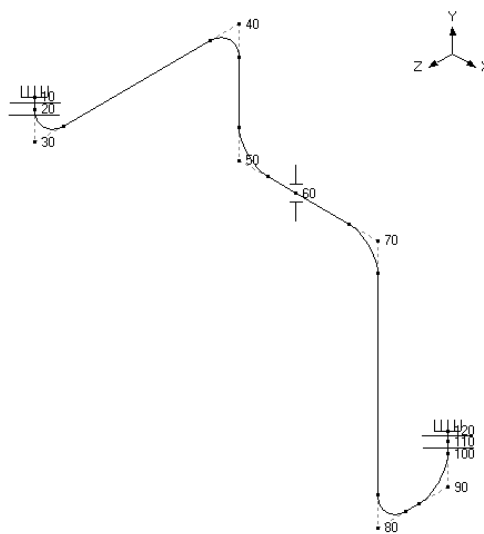


Imagen 93: representación a una línea del modelo 5-C30-8" y sus nodos

Esta línea conecta dos equipos mediante dos bridas en los nodos 20 y 110 y se sostiene en el apoyo largo Ñ en el nodo 60 mediante un Limit stop.

Imagen 94: valores de las bridas

Imagen 94: valores otorgados al Limit stop

6.2. Resultados del modelo

6.2.1. Tensiones

En este apartado se muestran las tensiones desarrolladas en la línea. Como se puede apreciar, la mayor concentración de tensiones se da sobre el apoyo que sostiene la línea. Estas tensiones son de 16,81 MPa muy por debajo del de la norma.

#	Sustained			Expansion			Occasional					
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	60	16.81	137.9	0.12	70B	10.22	206.8	0.05	60	17.86	183.4	0.10
2	90B	16.03	137.9	0.12	90B	7.182	206.8	0.03	90B	17.51	183.4	0.10
3	50B	15.95	137.9	0.12	80A	6.926	206.8	0.03	70B	17.25	183.4	0.09
4	70B	15.27	137.9	0.11	40A	6.449	206.8	0.03	50B	17.12	183.4	0.09
5	120	15.15	137.9	0.11	70A	6.303	206.8	0.03	30A	16.48	183.4	0.09
6	110	15.10	137.9	0.11	40B	5.742	206.8	0.03	30B	16.39	183.4	0.09
7	100	14.99	137.9	0.11	50A	5.669	206.8	0.03	80A	16.28	183.4	0.09
8	80A	14.71	137.9	0.11	50B	5.528	206.8	0.03	10	16.22	183.4	0.09
9	30A	14.42	137.9	0.10	30B	3.822	206.8	0.02	20	16.13	183.4	0.09
10	40A	14.23	137.9	0.10	120	3.491	206.8	0.02	100	16.05	183.4	0.09
11	10	14.15	137.9	0.10	110	3.452	206.8	0.02	110	15.95	183.4	0.09
12	20	14.11	137.9	0.10	100	3.432	206.8	0.02	120	15.84	183.4	0.09
13	30B	13.97	137.9	0.10	30A	2.445	206.8	0.01	90A	15.77	183.4	0.09
14	90A	13.96	137.9	0.10	80B	2.247	206.8	0.01	70A	15.72	183.4	0.09
15	80B	13.90	137.9	0.10	20	2.210	206.8	0.01	80B	15.70	183.4	0.09
16	70A	13.86	137.9	0.10	10	2.170	206.8	0.01	40A	15.30	183.4	0.08
17	40B	13.66	137.9	0.10	60	1.916	206.8	0.01	50A	14.52	183.4	0.08
18	50A	13.53	137.9	0.10	90A	1.831	206.8	0.01	40B	14.37	183.4	0.08

Imagen 95: tensiones en los diferentes momentos de carga de la línea 5-C30-8"

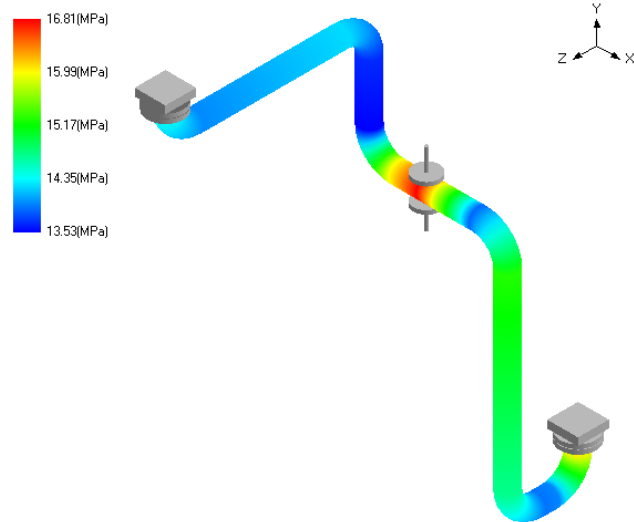


Imagen 96: resultados tensionales del modelo 5-C30-8"

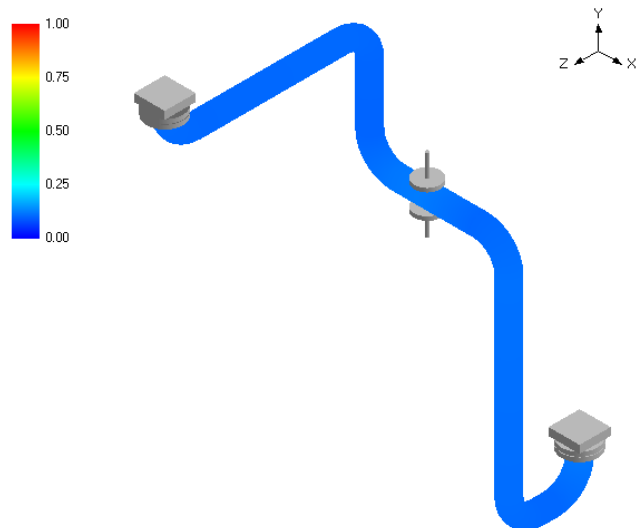


Imagen 97: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 5-C30-8"

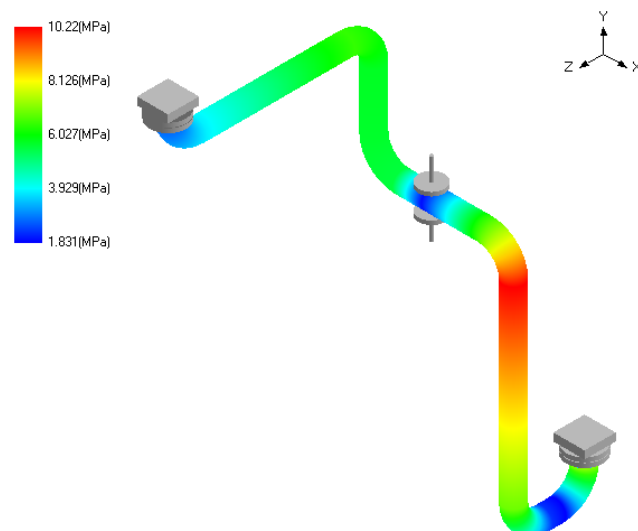


Imagen 98: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 5-C30-8"

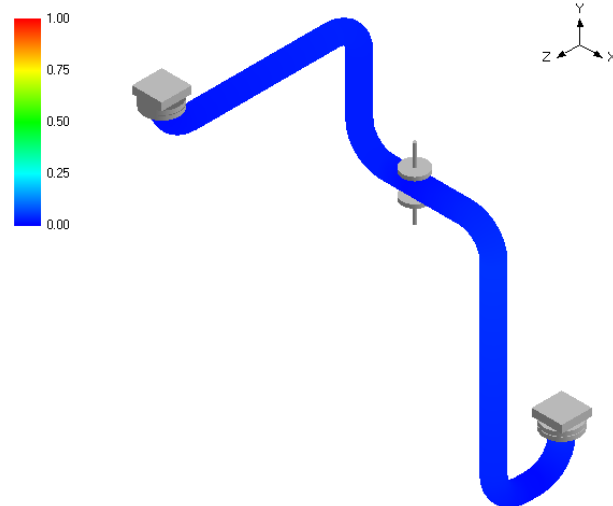


Imagen 99: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 5-C30-8"

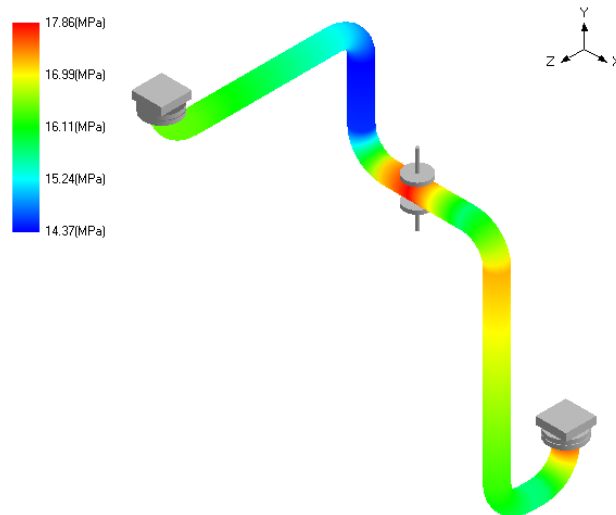


Imagen 100: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 5-C30-8"

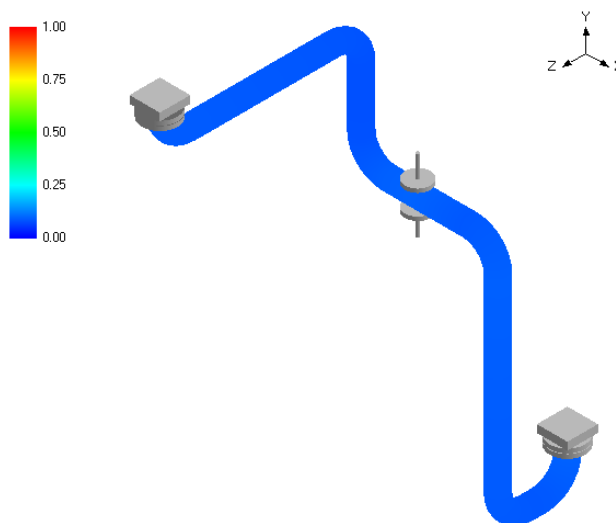


Imagen 101: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 5-C30-8"

6.2.2. Cargas en los soportes

Esta línea une dos equipos mediante dos anclajes y se sostiene en mediante un apoyo por la parte central de la línea.

El primer anclaje que se conecta al depósito V-102, se encuentra en el nodo 10 y sus valores son los siguientes:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-33	-881	32	-82	18	-14	0.000	0.000	0.000
Sustained	-56	-1279	53	-140	31	-24	0.000	0.000	0.000
Operating1	-562	-705	945	-113	619	-96	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	388	-1183	501	-227	-523	82	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	-118	-609	1393	-200	65	10	0.000	0.000	0.000
Maximum	388	-609	1393	-82	619	82	0.000	0.000	0.000
Minimum	-562	-1279	32	-227	-523	-96	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 102: valores del anclaje de la línea 5-C30-8" al deposito

El otro anclaje conecta el intercambiador E-102 con la línea, se encuentra en el nodo 120 y sus valores son los siguientes:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-80	-1087	-59	236	-77	-11	0.000	0.000	0.000
Sustained	-135	-1628	-99	399	-129	-19	0.000	0.000	0.000
Operating1	523	-3643	-303	1212	155	-96	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	432	-1680	281	415	21	-130	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	1090	-3696	77	1227	305	-208	0.000	0.000	0.000
Maximum	1090	-1087	281	1227	305	-11	0.000	0.000	0.000
Minimum	-135	-3696	-303	236	-129	-208	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 103: valores del anclaje de la línea 5-C30-8" al intercambiador

El ultimo valor de este apartado, es cómo se comporta el soporte en el que descansa la tubería. Este apoyo se encuentra en el nodo 55 y sus valores son los siguientes:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-2142	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-3604	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2162	649	0.012	0.000	-0.197
Sustained+Wind	-3648	13	0.476	0.000	0.203
Operating1+Wind	-2206	662	0.488	0.000	0.006
Maximum	-2142	662	0.488	0.000	0.203
Minimum	-3648	0	0.000	0.000	-0.197

Imagen 104: resultado de fuerzas que ejerce la línea 5-C30-8" sobre el soporte largo Ñ

6.2.3. Desplazamientos

Como se ve a continuación, la línea no sufre grandes deformaciones en ninguno de los casos de carga, dándose las mayores deformaciones en el momento de operación.

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0000
3	30A	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0000
4	30B	0.000	-0.006	0.004	-0.0009	0.0003	-0.0002
5	40A	-0.008	0.000	0.005	0.0013	0.0000	-0.0003
6	40B	-0.006	0.008	-0.004	0.0014	-0.0009	0.0003
7	50A	-0.003	0.009	-0.018	0.0012	-0.0013	0.0004
8	50B	0.000	0.010	-0.013	0.0005	-0.0024	-0.0016
9	60	0.000	0.000	0.000	0.0005	-0.0025	-0.0027
10	70A	0.000	-0.038	0.025	0.0004	-0.0026	-0.0042
11	70B	-0.015	-0.059	0.037	0.0005	-0.0025	-0.0011
12	80A	-0.018	-0.059	0.000	0.0018	-0.0021	0.0004
13	80B	-0.008	-0.036	-0.016	0.0053	-0.0013	-0.0002
14	90A	-0.005	-0.023	-0.016	0.0053	-0.0012	-0.0003
15	90B	0.000	0.000	0.000	0.0005	-0.0002	0.0000
16	100	0.000	0.000	0.000	0.0005	-0.0002	0.0000
17	110	0.000	0.000	0.000	0.0002	-0.0001	0.0000
18	120	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

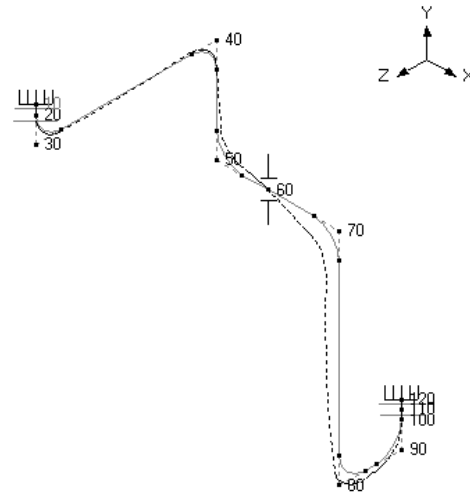


Imagen 105: desplazamientos en vacío (W) del modelo 5-3C30-8

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0000
3	30A	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0000
4	30B	-0.003	-0.010	0.008	-0.0015	0.0005	-0.0004
5	40A	-0.014	0.000	0.008	0.0021	0.0001	-0.0004
6	40B	-0.010	0.013	-0.007	0.0022	-0.0015	0.0004
7	50A	-0.005	0.014	-0.030	0.0020	-0.0022	0.0007
8	50B	0.000	0.015	-0.021	0.0008	-0.0039	-0.0025
9	60	0.000	0.000	0.000	0.0008	-0.0041	-0.0044
10	70A	0.000	-0.063	0.041	0.0007	-0.0043	-0.0069
11	70B	-0.025	-0.097	0.060	0.0009	-0.0041	-0.0018
12	80A	-0.030	-0.098	0.003	0.0031	-0.0034	0.0006
13	80B	-0.013	-0.059	-0.027	0.0086	-0.0022	-0.0003
14	90A	-0.008	-0.038	-0.027	0.0086	-0.0021	-0.0004
15	90B	0.000	0.000	0.000	0.0008	-0.0003	0.0000
16	100	0.000	0.000	0.000	0.0008	-0.0003	0.0000
17	110	0.000	0.000	0.000	0.0004	-0.0002	0.0000
18	120	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

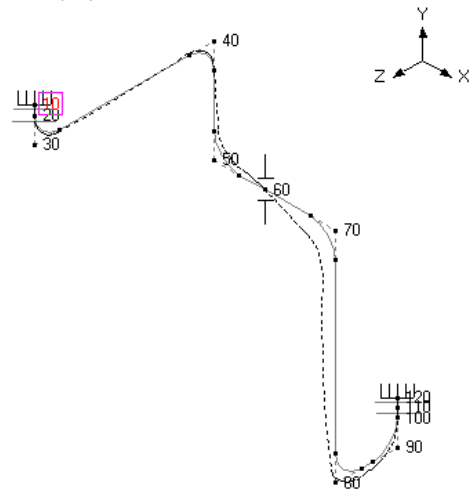


Imagen 106: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 5-3C30-8"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.033	0.000	0.0001	0.0008	-0.0001
3	30A	0.000	-0.033	0.000	0.0001	0.0008	-0.0001
4	30B	-0.037	-0.098	-0.102	0.0076	0.0097	-0.0034
5	40A	-0.339	0.098	-0.564	0.0043	0.0103	-0.0008
6	40B	-0.353	-0.012	-0.601	-0.0175	0.0006	0.0072
7	50A	-0.261	-0.202	-0.389	-0.0193	-0.0034	0.0099
8	50B	-0.078	-0.168	-0.247	-0.0204	-0.0089	0.0307
9	60	0.012	0.000	-0.197	-0.0194	-0.0092	0.0321
10	70A	0.177	0.320	-0.109	-0.0175	-0.0088	0.0314
11	70B	0.330	0.342	0.000	-0.0103	-0.0030	-0.0013
12	80A	0.049	-0.256	0.211	-0.0002	0.0022	-0.0099
13	80B	0.000	-0.275	0.078	0.0177	0.0013	-0.0052
14	90A	-0.006	-0.230	0.036	0.0177	0.0012	-0.0044
15	90B	0.000	-0.063	-0.003	0.0016	0.0007	-0.0003
16	100	0.000	-0.063	-0.003	0.0016	0.0007	-0.0003
17	110	0.000	-0.030	0.000	0.0008	0.0003	-0.0001
18	120	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

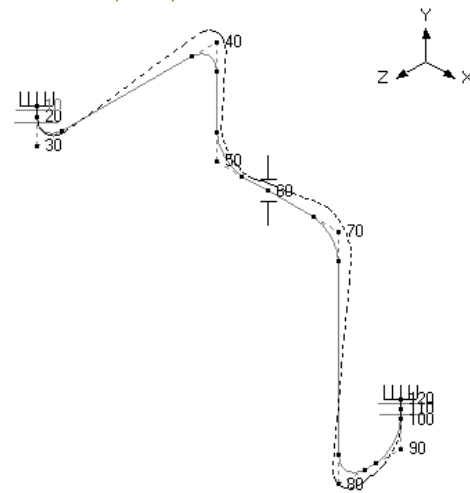


Imagen 107: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 5-3C30-8"

#	Node	Displacements [global]					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.033	0.000	-0.0001	0.0008	-0.0001
3	30A	0.000	-0.033	0.000	-0.0001	0.0008	-0.0001
4	30B	-0.040	-0.109	-0.095	0.0061	0.0102	-0.0038
5	40A	-0.353	0.096	-0.556	0.0065	0.0104	-0.0012
6	40B	-0.363	0.000	-0.608	-0.0153	-0.0009	0.0076
7	50A	-0.266	-0.188	-0.419	-0.0173	-0.0056	0.0105
8	50B	-0.078	-0.153	-0.269	-0.0195	-0.0129	0.0281
9	60	0.012	0.000	-0.197	-0.0186	-0.0133	0.0277
10	70A	0.177	0.256	-0.067	-0.0169	-0.0130	0.0244
11	70B	0.305	0.245	0.060	-0.0095	-0.0071	-0.0032
12	80A	0.019	-0.354	0.214	0.0029	-0.0012	-0.0093
13	80B	-0.015	-0.334	0.051	0.0263	-0.0009	-0.0055
14	90A	-0.013	-0.268	0.010	0.0264	-0.0008	-0.0048
15	90B	0.000	-0.063	-0.005	0.0023	0.0004	-0.0003
16	100	0.000	-0.063	-0.005	0.0023	0.0004	-0.0003
17	110	0.000	-0.030	0.000	0.0011	0.0002	-0.0001
18	120	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

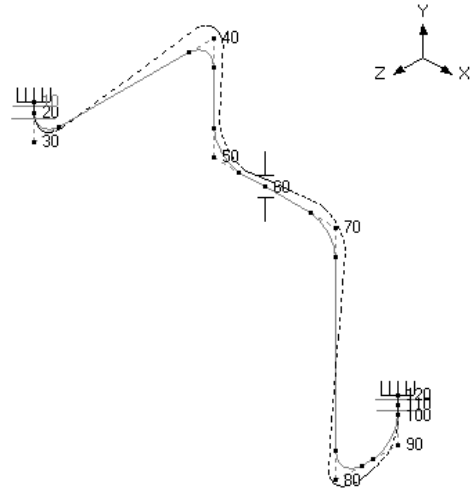


Imagen 108: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 5-3C30-8"

#	Node	Displacements [global]					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	-0.0001	-0.0008	0.0001
3	30A	0.000	0.000	0.000	-0.0001	-0.0008	0.0001
4	30B	0.039	0.000	0.000	0.0009	-0.0099	0.0043
5	40A	0.371	0.025	0.000	0.0002	-0.0134	0.0031
6	40B	0.457	0.017	0.016	-0.0039	-0.0134	0.0019
7	50A	0.475	0.017	0.061	-0.0038	-0.0136	0.0013
8	50B	0.476	0.013	0.141	-0.0006	-0.0118	-0.0022
9	60	0.476	0.000	0.203	0.0002	-0.0115	-0.0027
10	70A	0.476	-0.031	0.312	0.0016	-0.0108	-0.0037
11	70B	0.432	-0.064	0.333	0.0072	-0.0055	-0.0109
12	80A	0.021	-0.064	0.034	0.0088	-0.0007	-0.0106
13	80B	-0.018	-0.028	-0.008	0.0051	-0.0010	-0.0059
14	90A	-0.015	-0.016	-0.008	0.0049	-0.0010	-0.0052
15	90B	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0004	-0.0003
16	100	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0004	-0.0003
17	110	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0002	-0.0001
18	120	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

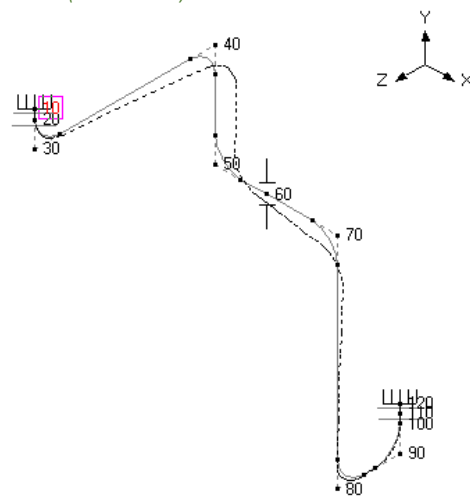


Imagen 109: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 5-3C30-8"

6.2.4. Frecuencias

En este apartado verificamos que la frecuencia más baja está por encima de los 2 Hz, y como se puede ver, el primer modo de vibración es de 9,48 Hz

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	9.477	0.1055	-1.3405	0.0913	-0.2741	0.4744	0.0022	0.0198
2	16.870	0.0593	-0.4753	-0.0615	0.9938	0.0596	0.0010	0.2608
3	28.178	0.0355	0.0198	0.1192	0.5298	0.0001	0.0038	0.0741
4	38.864	0.0257	-0.4942	-0.1743	-0.3807	0.0645	0.0080	0.0383
5					Total	0.5986	0.0150	0.3929

Imagen 110: frecuencias naturales de la línea 5-C30-8"

7. Simulación línea 9-C30-4"

La línea 9-C30-4" se encarga de retirar los restos de producto no útil sobrante del intercambiador de calor reboiler E-101. Se simula con la intención de averiguar el comportamiento de su apoyo sobre la viga transversal CD. También es muy interesante el trunnio que soporta la estación de control y como se carga la línea sobre él.

7.1. Modelado de la línea en CaePipe

Los datos de la se pueden encontrar en la "Memoria descriptiva", en el apartado "5.4.8. Línea 9" y son:

- Material → A53 Grado B
- Diámetro → 4 pulgadas
- Clase → 300#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 40 °C
- Temperatura de diseño → 65 °C
- Presión de operación → (desconocida) 15 bar
- Presión de diseño → 20 bar

Lo primero, al igual que en el resto de las líneas es declarar los valores que definen las tuberías. Se comenzará con el material, luego la sección y por último las condiciones de trabajo.

Como en todas las líneas que se van a simular, el material será A53 Grado B.

Imagen 111: selección de material para línea 9-C30-4"

El siguiente paso es declarar el diámetro y Schedule de la línea. En este caso 4" y SCH STD.

Imagen 112: valores para el diámetro y Schedule de la línea 9-C30-4".

Y por último las condiciones de trabajo de la línea, al no conocerse se sobredimensionan.

Imagen 113: condición de trabajo de la línea 9-C30-4"

Como esta línea también tiene un Trunnion, este se va a fabricar con perfiles. Para poder introducir perfiles metálicos en el modelo, es necesario declarar lo mismo que para las tuberías, es decir, el material del que están hechos, la sección que tienen y las condiciones de trabajo. Para declarar estos valores, es necesario pinchar en "Misc" y seleccionar dependiendo de lo que queramos declarar "Beam material", "Beam Section" y "Beam load".

Imagen 114: ventana para la selección del material del Trunnion

Imagen 115: ventana para la declaración del perfil
diseño del trunion

imagen 116: ventana para declarar las
condiciones de trabajo del tunning. de

Ahora que ya están todos los parámetros definidos, nos encontramos con el problema de que nos faltan espacio en CaePipe para poder programar la línea completamente. Por lo que se va

Ha realizar primero la línea con todos los accesorios y una restricción en lugar del trunnio completo. Y otra línea eliminando la primera brida y válvula (junto con sus dos bridas), para utilizar ese espacio de programación para diseñar el trunnio.

Con los dos modelos hechos, se compararán y se tomarán los datos del mejor se adapte a la realidad.

- **Modelo 9-C30-4" con accesorios**

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 9-C30-4								
2	10	From							Anchor
3	20								
4	30	Bend		-86		53	4	L1	Flange
5	40	Bend	-800			53	4	L1	
6	50	Bend		2265		53	4	L1	
7	60	Bend			-1208	53	4	L1	
8	70			-1988		53	4	L1	Flange
9	80	Valve		-355.6		53	4	L1	Flange
10	90	Bend		-200		53	4	L1	
11	100		200			53	4	L1	Flange
12	110	Valve	355.6			53	4	L1	Flange
13	120	Bend	200			53	4	L1	
14	130			200		53	4	L1	Flange
15	140	Valve		355.6		53	4	L1	Flange
16	150	Bend		1994		53	4	L1	
17	155				-1442	53	4	L1	Limit stop
18	160	Bend			-827	53	4	L1	
19	170			600		53	4	L1	XY restraint
20	90A	Location							Y restraint

Imagen 117: diseño de la línea 9-C30-4" con todos los accesorios

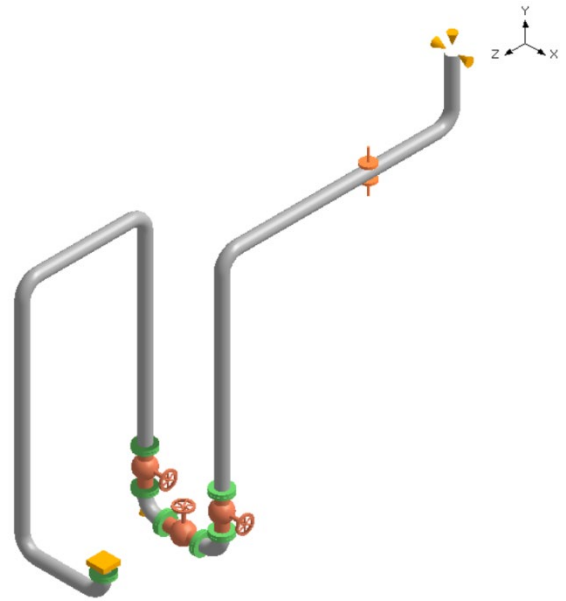


Imagen 118: representación gráfica del modelo introducido en la imagen anterior.

Los valores para las bridas de los nodos 20, 70, 80, 100, 110, 130 y 140 se muestran a continuación. Estos valores son iguales para este modelo y el modelo 9-C30-4"-TRUNNIO.

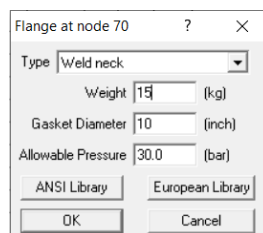


Imagen 119: valores de las bridas del modelo

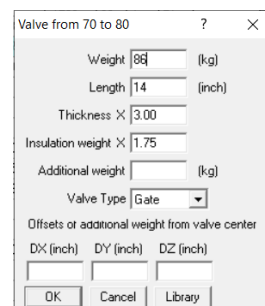


Imagen 120: valores para las válvulas del modelo

Los valores para las válvulas de los nodos 80, 110 y 140 se muestran a continuación. Estos valores son iguales para este modelo y el modelo 9-C30-4"-TRUNNIO.

- **Modelo 9-C30-4"-TRUNNION**

En este modelo se ha suprimido los nodo 20 y su brida y el nodo 70 junto con su brida y la válvula y brida del nodo 80. El nodo 80 alargado para compensar la pérdida. Se ha creado en el nodo 90ª una restricción vertical y desde este punto se ha creado una viga hasta el suelo. Esta viga no tiene restricciones en los ejes Z e X por lo que puede moverse. Está fabricada con un perfil HE100.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 9-C30-4-TRUNNION								
2	10	From							Anchor
3	30	Bend		-286		53	4	L1	
4	40	Bend	-800			53	4	L1	
5	50	Bend		2265		53	4	L1	
6	60	Bend			-1208	53	4	L1	
7	80			-2343.6		53	4	L1	
8	90	Bend		-200		53	4	L1	
9	100		200			53	4	L1	Flange
10	110	Valve	355.6			53	4	L1	Flange
11	120	Bend	200			53	4	L1	
12	130			200		53	4	L1	Flange
13	140	Valve		355.6		53	4	L1	Flange
14	150	Bend		1994		53	4	L1	
15	155				-1442	53	4	L1	Limit stop
16	160	Bend			-827	53	4	L1	
17	170			600		53	4	L1	XY restraint
18	90A	Location							Y restraint
19	90A	From							
20	200	Beam		-610		275	HE100	L2	Anchor
21									

Imagen 121: diseño de la línea 9-C30-4"-TRUNNION

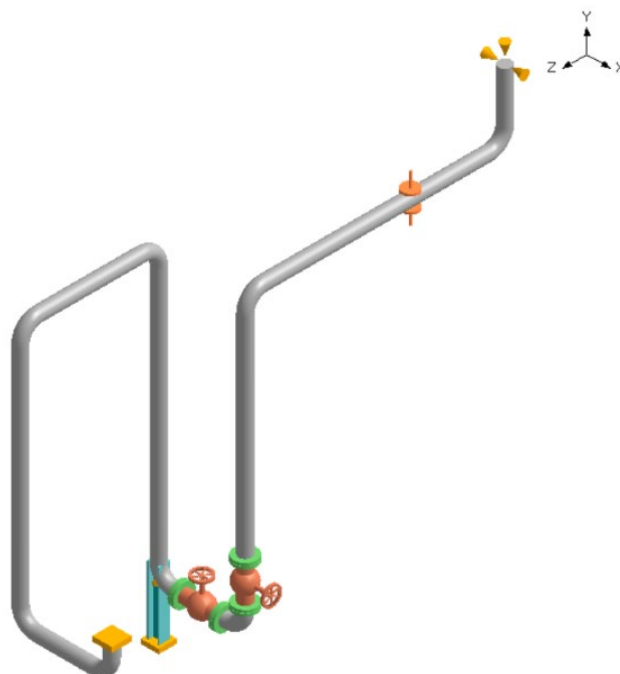


Imagen 122: representación gráfica de la línea 9-C30-4"-TRUNNION

7.2. Resultados del modelo

Se mostrarán los resultados de los dos modelos y se elegirá de cual se toman los datos.

7.2.1. Comparativa entre los modelos

Lo primero que se va a hacer es elegir el modelo del que tomar los datos.

7.2.1.1. Modelo 9-C30-4"

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	155	50.97	110.3	0.46	60A	2.230	165.5	0.01	155	55.55	146.7	0.38
2	90A	20.04	110.3	0.18	60B	2.193	165.5	0.01	50A	40.46	146.7	0.28
3	60B	19.52	110.3	0.18	150A	2.044	165.5	0.01	50B	39.56	146.7	0.27
4	40B	18.66	110.3	0.17	150B	1.996	165.5	0.01	60B	39.19	146.7	0.27
5	160A	18.54	110.3	0.17	50B	1.858	165.5	0.01	60A	39.00	146.7	0.27
6	60A	18.22	110.3	0.17	30A	1.803	165.5	0.01	40B	35.80	146.7	0.24
7	150A	17.02	110.3	0.15	50A	1.754	165.5	0.01	40A	34.45	146.7	0.23
8	50A	16.17	110.3	0.15	120B	1.652	165.5	0.01	30A	29.50	146.7	0.20
9	40A	15.94	110.3	0.14	30B	1.572	165.5	0.01	90A	29.45	146.7	0.20
10	30A	15.63	110.3	0.14	40B	1.500	165.5	0.01	30B	27.34	146.7	0.19
11	70	15.61	110.3	0.14	90A	1.437	165.5	0.01	150A	24.58	146.7	0.17
12	80	15.06	110.3	0.14	120A	1.229	165.5	0.01	90B	24.10	146.7	0.16
13	90B	14.88	110.3	0.13	40A	1.214	165.5	0.01	20	23.49	146.7	0.16
14	50B	14.63	110.3	0.13	20	1.149	165.5	0.01	80	22.75	146.7	0.16
15	10	13.32	110.3	0.12	10	1.109	165.5	0.01	10	22.08	146.7	0.15
16	20	13.29	110.3	0.12	130	1.009	165.5	0.01	160A	21.77	146.7	0.15
17	100	11.79	110.3	0.11	110	0.980	165.5	0.01	70	21.73	146.7	0.15
18	30B	11.15	110.3	0.10	90B	0.940	165.5	0.01	100	20.80	146.7	0.14
19	140	10.55	110.3	0.10	100	0.896	165.5	0.01	120B	20.75	146.7	0.14
20	150B	10.30	110.3	0.09	80	0.830	165.5	0.01	120A	20.32	146.7	0.14
21	120B	9.618	110.3	0.09	140	0.793	165.5	0.00	140	19.33	146.7	0.13
22	120A	9.610	110.3	0.09	70	0.623	165.5	0.00	110	19.15	146.7	0.13
23	130	9.301	110.3	0.08	155	0.577	165.5	0.00	130	19.01	146.7	0.13
24	110	9.284	110.3	0.08	160A	0.256	165.5	0.00	150B	18.46	146.7	0.13
25	160B	7.384	110.3	0.07	160B	0.232	165.5	0.00	160B	10.24	146.7	0.07
26	170	5.867	110.3	0.05	170	0.014	165.5	0.00	170	5.869	146.7	0.04

Imagen 123: resultados del modelo 9-C30-4"

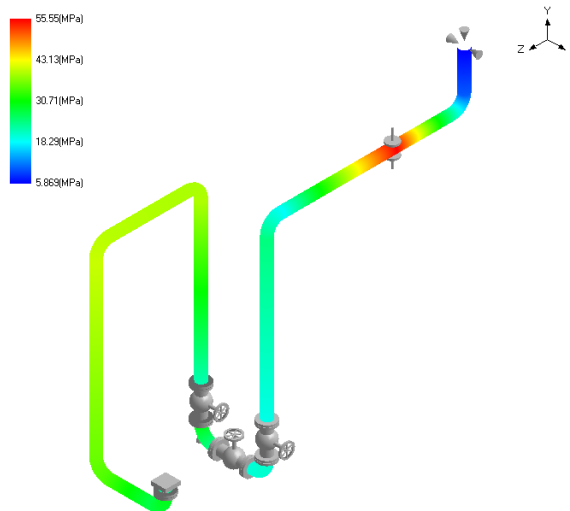


Imagen 124: representación gráfica de los resultados SL+SO del modelo 9-C330-4"

7.2.1.2. Modelo 9-C30-4"-TRUNNION

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	155	39.83	110.3	0.36	150A	2.808	165.5	0.02	155	44.54	146.7	0.30
2	90A	22.45	110.3	0.20	150B	2.488	165.5	0.02	40B	32.13	146.7	0.22
3	40B	17.73	110.3	0.16	120B	2.481	165.5	0.01	40A	30.84	146.7	0.21
4	150A	16.06	110.3	0.15	60A	2.107	165.5	0.01	90A	28.95	146.7	0.20
5	160A	15.53	110.3	0.14	60B	1.953	165.5	0.01	50A	25.50	146.7	0.17
6	40A	15.50	110.3	0.14	120A	1.930	165.5	0.01	50B	25.23	146.7	0.17
7	80	15.40	110.3	0.14	50B	1.745	165.5	0.01	30A	24.98	146.7	0.17
8	90B	14.89	110.3	0.13	30A	1.712	165.5	0.01	60A	23.31	146.7	0.16
9	30A	14.35	110.3	0.13	155	1.625	165.5	0.01	150A	22.96	146.7	0.16
10	120B	14.32	110.3	0.13	90A	1.619	165.5	0.01	30B	22.62	146.7	0.15
11	60A	13.71	110.3	0.12	40B	1.482	165.5	0.01	60B	22.02	146.7	0.15
12	120A	13.65	110.3	0.12	50A	1.470	165.5	0.01	120B	20.76	146.7	0.14
13	60B	13.37	110.3	0.12	30B	1.442	165.5	0.01	90B	20.66	146.7	0.14
14	10	12.58	110.3	0.11	130	1.414	165.5	0.01	80	20.49	146.7	0.14
15	130	12.08	110.3	0.11	40A	1.219	165.5	0.01	120A	20.02	146.7	0.14
16	140	12.08	110.3	0.11	110	1.175	165.5	0.01	10	19.47	146.7	0.13
17	100	11.59	110.3	0.11	140	1.144	165.5	0.01	150B	17.84	146.7	0.12
18	110	11.53	110.3	0.10	10	0.975	165.5	0.01	130	17.82	146.7	0.12
19	150B	11.12	110.3	0.10	90B	0.894	165.5	0.01	160A	17.74	146.7	0.12
20	50A	11.01	110.3	0.10	100	0.840	165.5	0.01	140	17.40	146.7	0.12
21	50B	10.70	110.3	0.10	80	0.821	165.5	0.00	110	17.16	146.7	0.12
22	30B	9.627	110.3	0.09	160A	0.576	165.5	0.00	100	16.79	146.7	0.11
23	160B	7.169	110.3	0.06	160B	0.166	165.5	0.00	160B	9.223	146.7	0.06
24	170	6.212	110.3	0.06	170	0.050	165.5	0.00	170	6.343	146.7	0.04

Imagen 125: resultado de las tensiones del modelo 9-C330-4"-TRUNNION

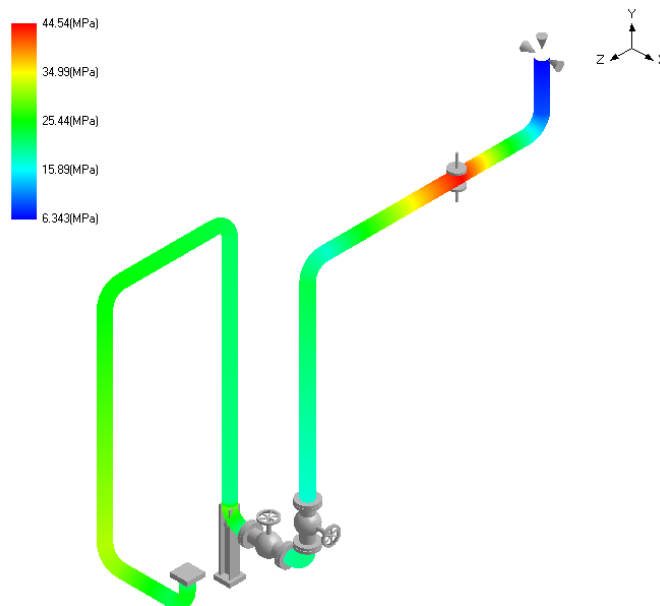


Imagen 126: representación gráfica de los resultados SL+SO de 9-C330-4"-TRUNNION

7.2.2. Elección de modelo

Aun asemejándose de una forma más grafica el modelo 9-C330-4"-TRUNNION, como el trunnio no muy largo y no estar restringido en el plano XZ, no aporta gran información al modelo. Mientras que el modelo inicial con todos los accesorios, al cargar más peso y tener más resistencia al viento, produce unos resultados generales más altos.

7.2.3. Resultados del modelo 9-C30-4”

Esta línea se ha modelado en la imagen 117 de este mismo documento.

7.2.3.1. Tensiones

Como ya se han publicado los resultados de las tensiones, se ha añadido directamente su representación tensional mediante código de colores.

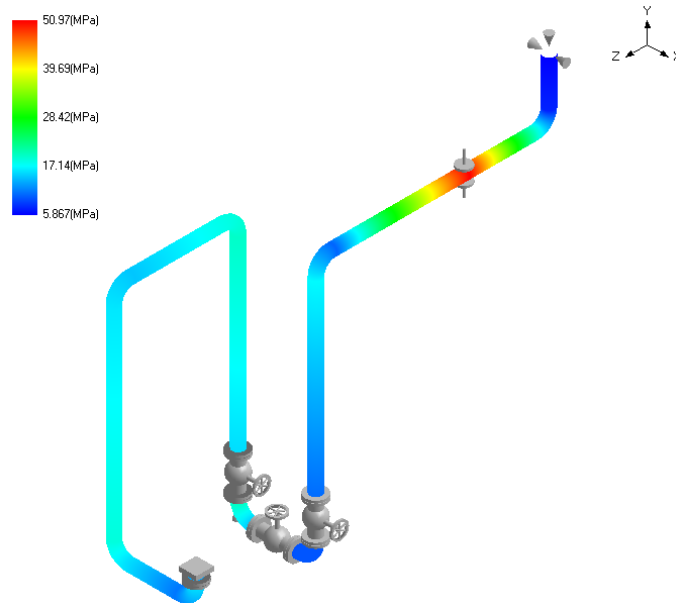


Imagen 127: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 9-C30-4”

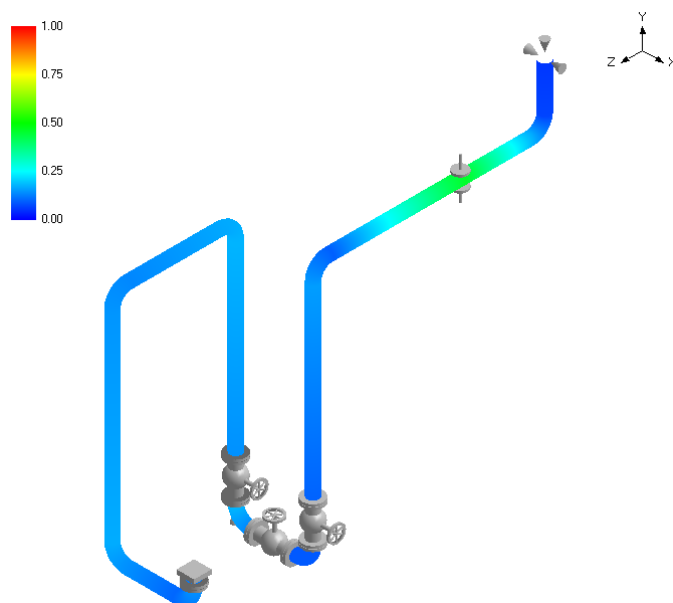


Imagen 127: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 9-C30-4”

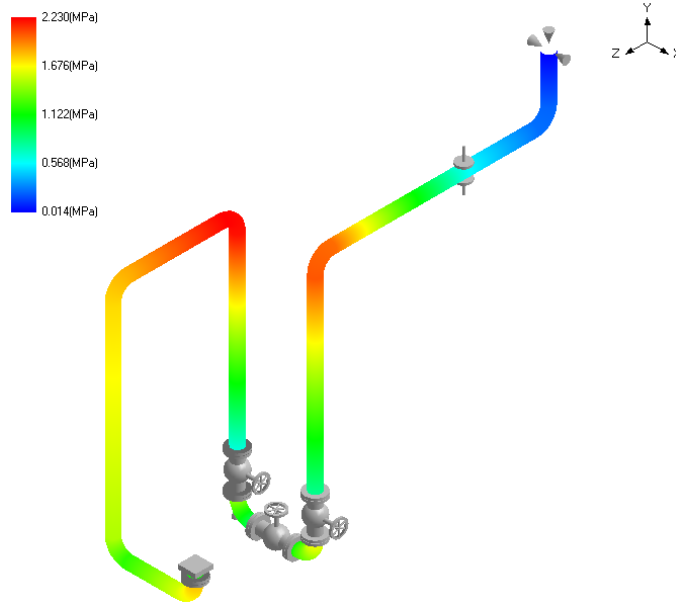


Imagen 128: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 9-C30-4”

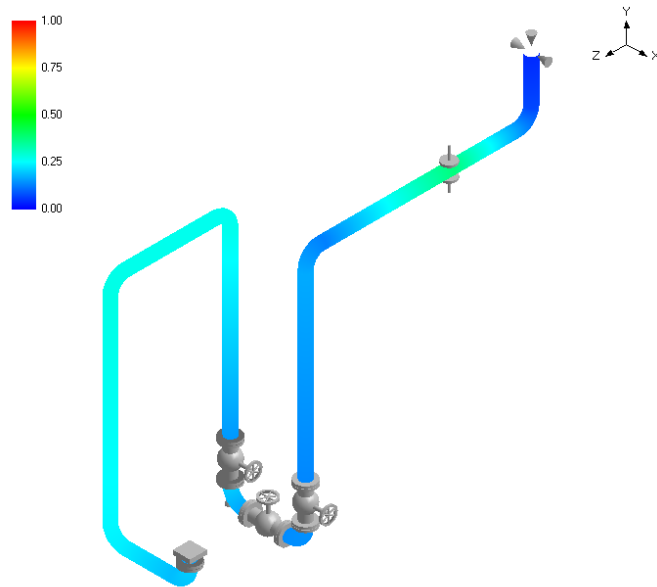


Imagen 129: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 9-C30-4”

7.2.3.2. Cargas en los soportes

El primer soporte que encontramos es el anclaje que une la línea con el intercambiador E-101. En este anclaje los resultados son:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	21	-906	-88	-66	46	170	0.000	0.000	0.000
Sustained	29	-1175	-99	-60	45	289	0.000	0.000	0.000
Operating1	22	-1164	-57	-23	78	259	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	661	-1330	636	276	249	53	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	654	-1319	678	313	282	23	0.000	0.000	0.000
Maximum	661	-906	678	313	282	289	0.000	0.000	0.000
Minimum	21	-1330	-99	-66	45	23	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 130: resultados de la conexión de la línea al intercambiador E-101 en el nodo 10

El siguiente valor que nos ofrece el programa es el del apoyo por Limit stop en el nodo 155 que apoya la tubería sobre el portante CD.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-4339	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-4874	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-4787	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-4874	0	3.559	0.504	8.398
Operating1+Wind	-4787	0	3.559	0.504	8.398
Maximum	-4339	0	3.559	0.504	8.398
Minimum	-4874	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 131: resultados del apoyo de la línea sobre le portante CD

El ultimo valor es el resultado de la restricción que hemos puesto en el lugar donde iría el trunnio. Estos valores los hemos comparado con los del modelo donde se ha diseñado el trunnio, y son ligeramente superiores.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Displacements (global)		
				X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight		-2511		-7.235	0.000	-3.734
Sustained		-2838		-8.128	0.000	-4.244
Operating1		-2908		-8.994	0.000	-3.779
Sustained+Wind		-2659		2.589	0.000	5.780
Operating1+Wind		-2728		1.722	0.000	6.245
Maximum		-2511		2.589	0.000	6.245
Minimum		-2908		-8.994	0.000	-4.244
Allowables		0		0.000	0.000	0.000

Imagen 132: resultados de la restricción vertical puesta en el nodo 90ª

7.2.3.3. Desplazamientos

Los desplazamientos que se muestran son en el momento de operación (W + P1 + t1).

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.023	0.000	0.0000	-0.0012	0.0014
3	30A	0.003	-0.036	0.000	0.0000	-0.0018	0.0020
4	30B	-0.018	-0.102	-0.019	0.0031	-0.0098	0.0101
5	40A	-0.149	-0.160	-0.125	0.0031	-0.0149	-0.0007
6	40B	-0.094	-0.067	-0.172	0.0001	-0.0228	-0.0570
7	50A	2.844	0.450	-0.159	0.0008	-0.0485	-0.0977
8	50B	3.236	0.495	-0.197	0.0030	-0.0527	-0.0952
9	60A	4.057	0.592	-0.436	0.0104	-0.0476	-0.0850
10	60B	3.939	0.591	-0.524	0.0223	-0.0347	-0.0858
11	70	0.867	0.106	-1.505	0.0387	0.0160	-0.1210
12	80	0.105	0.012	-1.747	0.0395	0.0184	-0.1250
13	90A	0.000	0.000	-1.780	0.0399	0.0197	-0.1275
14	90B	-0.359	-0.477	-1.980	0.0529	0.0388	-0.1757
15	100	-0.346	-0.625	-2.013	0.0534	0.0398	-0.1763
16	110	-0.252	-1.717	-2.266	0.0543	0.0416	-0.1744
17	120A	-0.239	-1.862	-2.301	0.0549	0.0426	-0.1721
18	120B	0.137	-2.213	-2.289	0.0552	0.0565	-0.0987
19	130	0.218	-2.200	-2.243	0.0556	0.0578	-0.0959
20	140	0.798	-2.106	-1.896	0.0564	0.0601	-0.0914
21	150A	2.943	-1.616	0.178	0.0729	0.1105	-0.0616
22	150B	2.812	-1.365	0.342	0.0801	0.1196	-0.0693
23	155	0.093	0.000	0.000	0.0182	0.1122	-0.1026
24	160A	-1.146	-0.085	-0.178	-0.0214	0.1013	-0.1200
25	160B	-1.065	-0.117	-0.295	-0.0293	0.0939	-0.1340
26	170	0.000	0.000	-0.524	-0.0293	0.0939	-0.1373

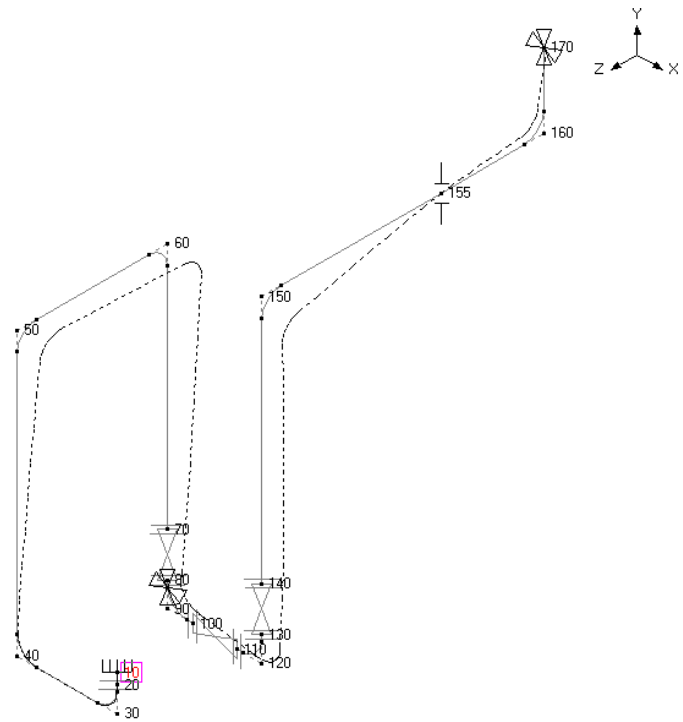


Imagen 133: valores y representación de la deformación en modo operación

7.2.3.4. Frecuencias

Es necesario comprobar que el modelo sea lo suficientemente estable.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	3.778	0.2647	0.3027	-0.0139	-1.2479	0.0249	0.0001	0.4234
2	4.188	0.2388	0.8184	-0.3517	0.1865	0.1821	0.0336	0.0095
3	5.674	0.1762	0.0048	-0.1489	0.1194	0.0000	0.0060	0.0039
4	8.354	0.1197	0.1113	-0.0687	-0.1594	0.0034	0.0013	0.0069
5	10.138	0.0986	0.3468	-0.2143	0.7839	0.0327	0.0125	0.1671
6	15.195	0.0658	-0.3013	-1.0995	-0.2888	0.0247	0.3287	0.0227
7	19.568	0.0511	0.0724	-0.3088	0.2869	0.0014	0.0259	0.0224
8	21.366	0.0468	0.4781	0.1458	-0.2873	0.0622	0.0058	0.0224
9	27.371	0.0365	-0.0713	0.6631	0.1092	0.0014	0.1196	0.0032
10	35.160	0.0284	-0.0028	-0.0488	0.3521	0.0000	0.0006	0.0337
11					Total	0.3328	0.5341	0.7152

Imagen 134: valores de los modos de vibración del modelo 9-C30-4"

8. Simulación línea 10-A15-6"

8.1. Modelado de la línea en CaePipe

Esta línea es la que más al oeste de la unidad. Es de gran importancia porque se sostiene sobre el apoyo corto W y sobre la viga transversal del rack CD.

Sus valores los podemos encontrar en la "Memoria descriptiva" apartado "5.4.9. Línea 10" y son los siguientes:

- Material → A53 Grado B
- Diámetro → 6 pulgadas
- Clase → 150#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 60 °C
- Temperatura de diseño → 100 °C
- Presión de operación → (desconocida) 5 bar
- Presión de diseño → 10 bar

Como en las líneas anteriores, con estos valores se creará el ambiente de trabajo de la línea.

Imagen 135: valores de la sección del modelo 10-A15-6"

Imagen 136: condiciones de trabajo para la línea 5-C30-8"

El material de la línea se declarará como anteriormente. El viento en esta línea será un factor bastante determinante al ser bastante larga y estar completamente descubierta.

Ahora que ya tenemos todas las condiciones del modelo declaradas, realizamos la programación.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 10-A15-6"								
2	10	From							Anchor
3	20			-89		A53	6	L1	Flange
4	30	Bend		-327		A53	6	L1	
5	40	Bend	1000			A53	6	L1	
6	50			624		A53	6	L1	Flange
7	60	Valve		406.4		A53	6	L1	Flange
8	70	Bend		1156		A53	6	L1	
9	80				-3612.2	A53	6	L1	Limit stop
10	90				-5791.2	A53	6	L1	Limit stop
11	100	Bend			-1985.2	A53	6	L1	
12	110			600		A53	6	L1	XY restraint

Imagen 137: programación del modelo de la línea 10-A15-6"

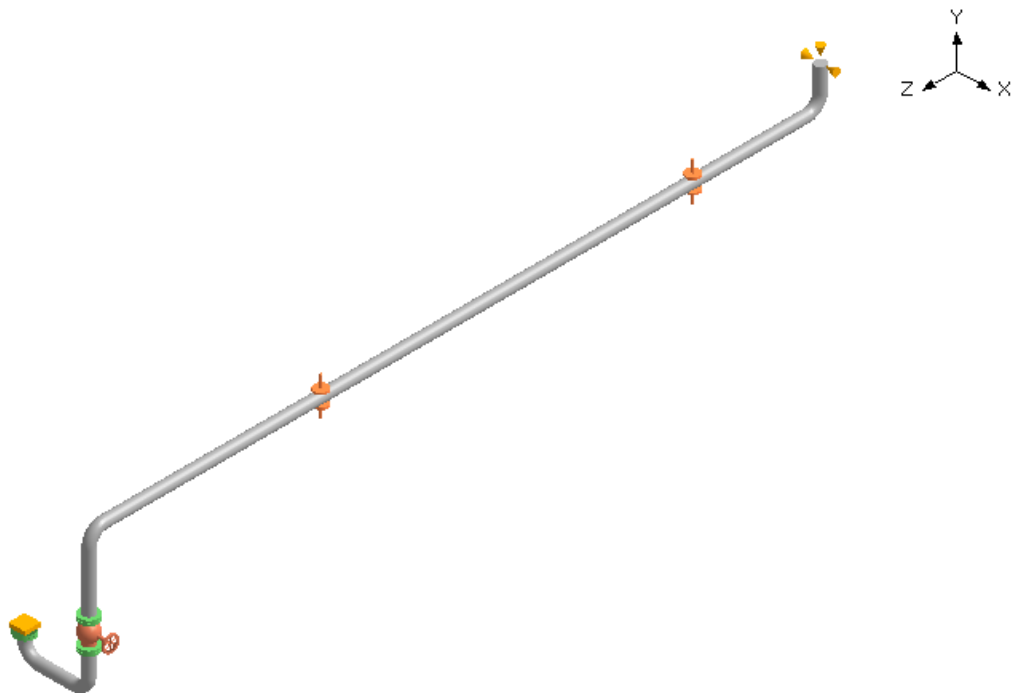
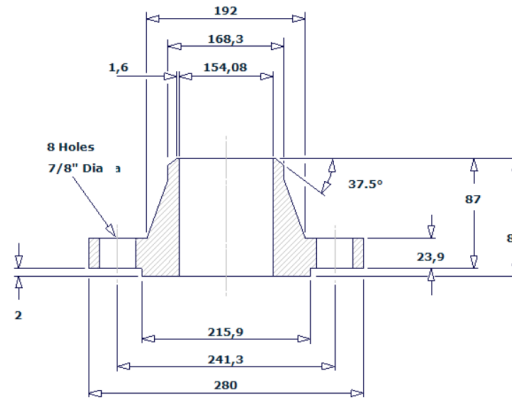


Imagen 138: representación gráfica del modelo de la línea 10-A15-6"

Para los valores de las bridas de los nodos 20, 50 y 60, se han tomado los valores de catálogo que se muestran a continuación.

6"NPS Weldneck Flange 150# RF Sch-STD

Flange Wt = 10,91 kg
S/Bolts and Nuts = 2,91 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 100 Long

ASME B16.5-2017

Imagen 139: valores de catálogo de PipeDataPro de una brida WeldNeck de 6" clase 150# RF

Y estos valores se introducen en el modelo de la siguiente forma:

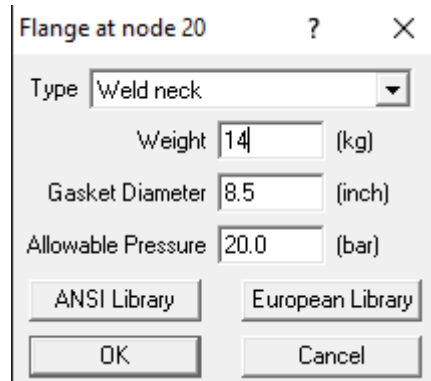
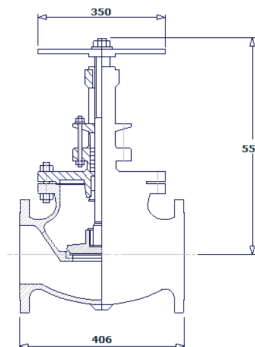


Imagen 140: introducción de valores de la brida en el programa CaePipe

Para introducir los valores de la válvula que se instala en el nodo 60, consultamos el programa PipeDataPro:

6"NPS Flanged Globe Valve 150# RF

Valve Weight = 101kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

Imagen 141: valores de una válvula de globo de 6" NPS RF y clase 150#

Valve from 50 to 60 ? X

Weight (kg)

Length (inch)

Thickness X

Insulation weight X

Additional weight (kg)

Valve Type

Offsets of additional weight from valve center

DX (inch) DY (inch) DZ (inch)

Imagen 142: introducción de los valores de la calcula en el programa CaePipe

8.2. Resultados del modelo

8.2.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	30A	27.19	137.9	0.20	70B	10.73	206.8	0.05	30A	35.94	183.4	0.20
2	30B	18.27	137.9	0.13	70A	9.344	206.8	0.05	30B	30.02	183.4	0.16
3	10	18.15	137.9	0.13	30A	7.716	206.8	0.04	20	23.83	183.4	0.13
4	20	17.97	137.9	0.13	40B	6.432	206.8	0.03	10	23.64	183.4	0.13
5	80	15.36	137.9	0.11	30B	5.858	206.8	0.03	80	22.92	183.4	0.12
6	40B	10.03	137.9	0.07	40A	4.355	206.8	0.02	40B	21.72	183.4	0.12
7	90	9.589	137.9	0.07	20	4.332	206.8	0.02	40A	19.12	183.4	0.10
8	70B	7.025	137.9	0.05	10	4.108	206.8	0.02	90	16.12	183.4	0.09
9	50	6.381	137.9	0.05	90	2.804	206.8	0.01	50	11.70	183.4	0.06
10	70A	6.205	137.9	0.04	80	2.657	206.8	0.01	70B	9.826	183.4	0.05
11	60	6.078	137.9	0.04	50	2.269	206.8	0.01	60	9.661	183.4	0.05
12	40A	6.010	137.9	0.04	60	1.541	206.8	0.01	70A	9.125	183.4	0.05
13	100B	3.649	137.9	0.03	100A	0.832	206.8	0.00	100A	6.019	183.4	0.03
14	100A	3.469	137.9	0.03	100B	0.693	206.8	0.00	100B	5.712	183.4	0.03
15	110	3.022	137.9	0.02	110	0.034	206.8	0.00	110	3.107	183.4	0.02

Imagen 143. resultados tensionales del modelo 10-A15-6"

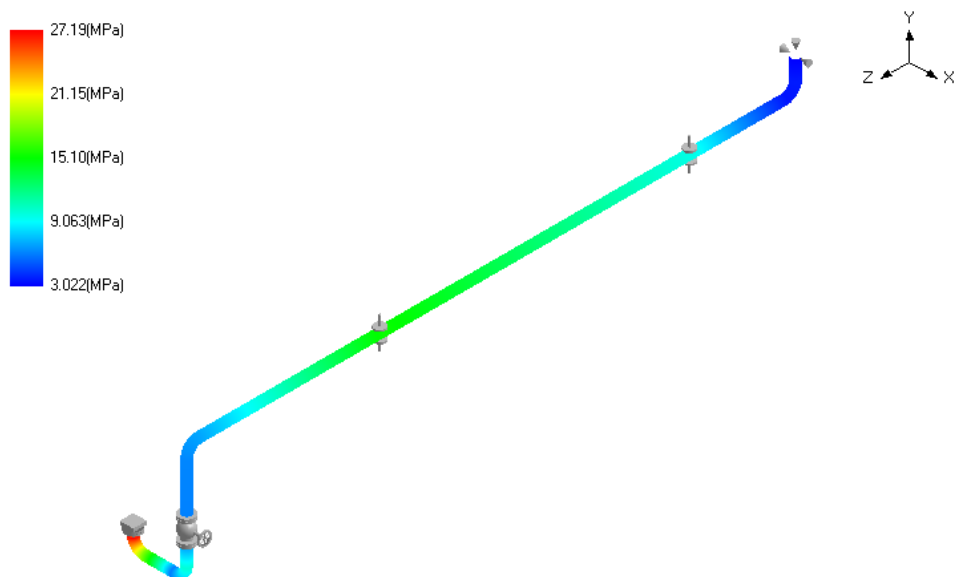


Imagen 144: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 10-A15-6"

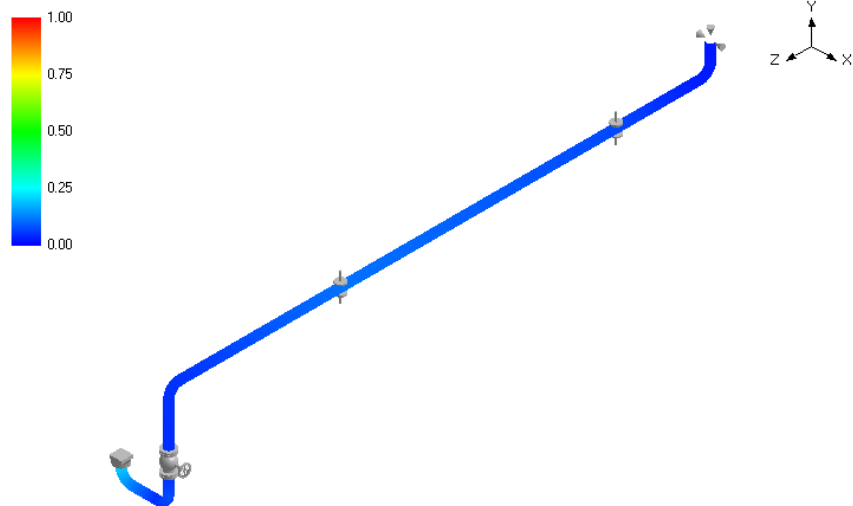


Imagen 145: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 10-A15-6"

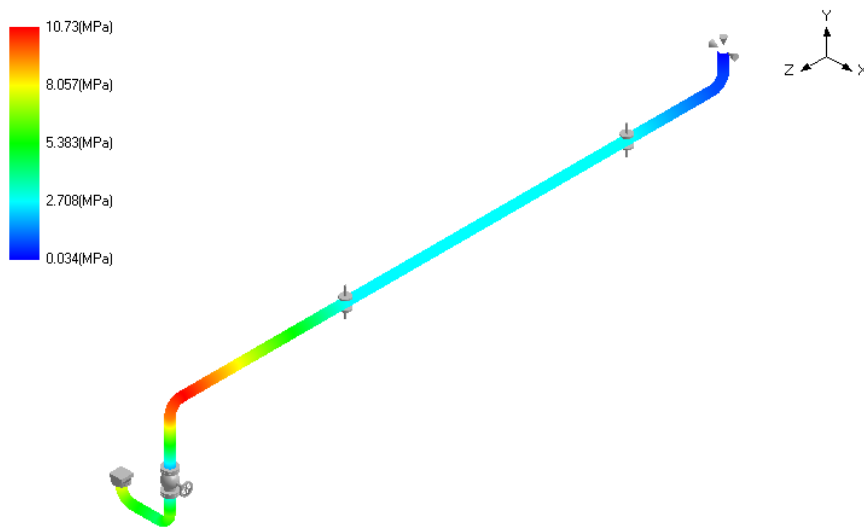


Imagen 146: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 10-A15-6"

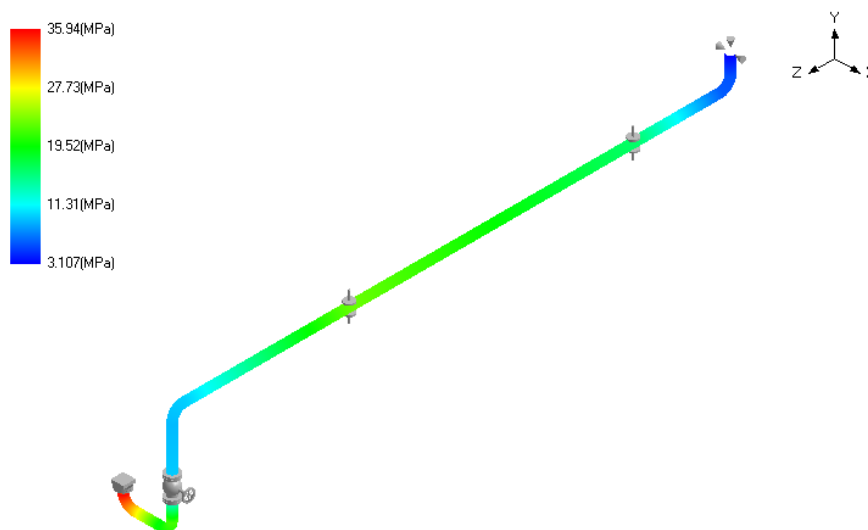


Imagen 147: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 10-A15-6"

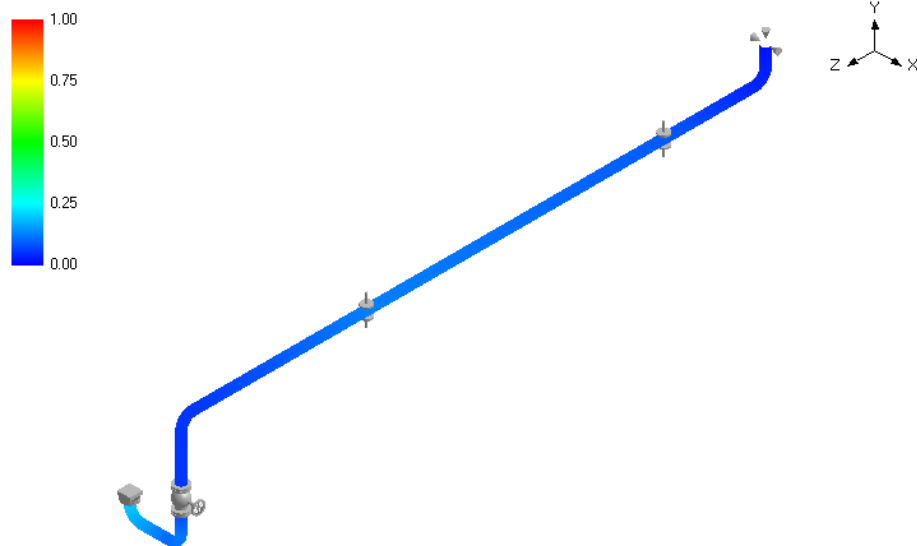


Imagen 148: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 10-A15-6"

8.2.2. Cargas en los soportes

El primer soporte que nos encontramos en esta línea es la unión mediante un anclaje en el nodo 10 al intercambiador E-101

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-206	-2356	-82	53	267	-1542	0.000	0.000	0.000
Sustained	-263	-3045	-97	66	334	-1974	0.000	0.000	0.000
Operating1	-331	-3331	491	409	-41	-2218	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	499	-2672	259	286	-238	-2416	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	430	-2957	847	629	-613	-2659	0.000	0.000	0.000
Maximum	499	-2356	847	629	334	-1542	0.000	0.000	0.000
Minimum	-331	-3331	-97	53	-613	-2659	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 149: resultados en la unión de la línea al intercambiador.

El siguiente soporte que nos aparece es el que se da en el nodo 80. En este punto la tubería se sustenta sobre el soporte corto W mediante un patín representado con un Limit Stop.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1745	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-2697	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2311	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-2269	128	7.588	1.000	1.447
Operating1+Wind	-1883	128	7.588	1.000	1.447
Maximum	-1745	128	7.588	1.000	1.447
Minimum	-2697	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 150: resultados sobre el apoyo coroto W

El siguiente soporte que nos encontramos en la línea es en el nodo 90, que coincide con el punto donde la tubería descansa sobre la viga transversal CD.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1233	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-2018	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2240	672	-0.755	0.000	-2.520
Sustained+Wind	-1801	65	3.729	1.000	1.448
Operating1+Wind	-2024	737	2.974	1.000	-1.073
Maximum	-1233	737	3.729	1.000	1.448
Minimum	-2240	0	-0.755	0.000	-2.520

Imagen 151: valores sobre el portante CD

8.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	-0.003	0.000	0.000	0.0001	0.0007	-0.0033
3	30A	-0.012	0.000	0.000	0.0002	0.0016	-0.0069
4	30B	-0.159	-0.231	-0.034	0.0050	0.0107	-0.0809
5	40A	-0.159	-1.043	-0.150	0.0053	0.0137	-0.0865
6	40B	0.142	-1.369	-0.203	0.0034	0.0199	-0.0658
7	50	0.580	-1.370	-0.178	0.0039	0.0222	-0.0615
8	60	1.002	-1.370	-0.147	0.0048	0.0246	-0.0579
9	70A	1.892	-1.371	-0.047	0.0079	0.0300	-0.0528
10	70B	1.955	-1.311	0.000	0.0195	0.0369	-0.0467
11	80	0.000	0.000	0.000	0.0071	0.0196	-0.0377
12	90	0.000	0.000	0.000	0.0059	0.0000	-0.0223
13	100A	-0.132	0.007	0.000	-0.0017	0.0067	-0.0176
14	100B	-0.097	0.000	-0.007	-0.0017	0.0083	-0.0151
15	110	0.000	0.000	-0.018	-0.0017	0.0083	-0.0149

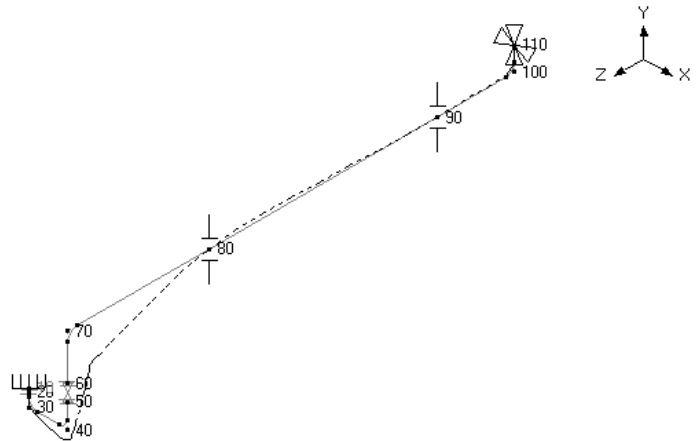


Imagen 152: desplazamientos en vacío (W) del modelo 10-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	-0.003	0.000	0.000	0.0001	0.0009	-0.0042
3	30A	-0.015	0.000	0.000	0.0003	0.0020	-0.0088
4	30B	-0.202	-0.294	-0.042	0.0062	0.0134	-0.1029
5	40A	-0.202	-1.326	-0.188	0.0067	0.0171	-0.1099
6	40B	0.180	-1.740	-0.254	0.0044	0.0251	-0.0835
7	50	0.736	-1.741	-0.222	0.0050	0.0280	-0.0781
8	60	1.272	-1.742	-0.183	0.0060	0.0310	-0.0735
9	70A	2.401	-1.743	-0.058	0.0099	0.0379	-0.0671
10	70B	2.482	-1.669	0.000	0.0242	0.0468	-0.0592
11	80	0.000	0.000	0.000	0.0066	0.0250	-0.0478
12	90	0.000	0.000	0.000	0.0102	0.0001	-0.0283
13	100A	-0.167	0.012	0.000	-0.0031	0.0085	-0.0224
14	100B	-0.123	0.000	-0.013	-0.0031	0.0105	-0.0192
15	110	0.000	0.000	-0.033	-0.0031	0.0105	-0.0189

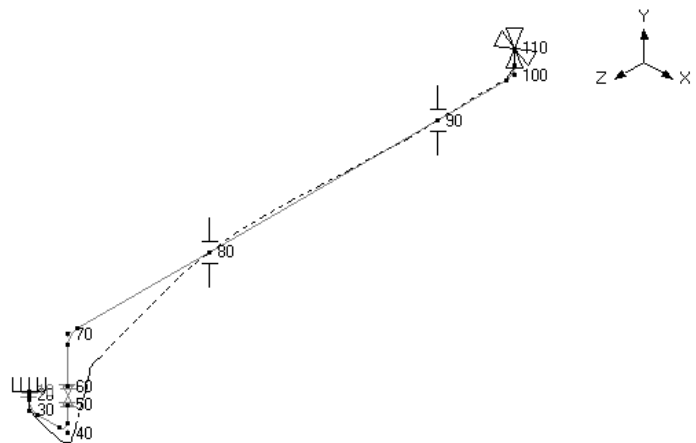


Imagen 153: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 10-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.039	0.000	0.0008	-0.0010	-0.0005
3	30A	0.000	-0.082	0.000	0.0018	-0.0022	-0.0011
4	30B	0.075	-0.216	-0.024	0.0147	-0.0048	-0.0122
5	40A	0.312	-0.339	0.032	0.0247	-0.0059	-0.0132
6	40B	0.459	-0.290	0.188	0.0399	-0.0088	-0.0108
7	50	0.532	-0.118	0.477	0.0431	-0.0062	-0.0104
8	60	0.605	0.059	0.790	0.0441	-0.0035	-0.0103
9	70A	0.775	0.463	1.472	0.0376	0.0027	-0.0110
10	70B	0.797	0.624	1.473	0.0022	0.0086	-0.0104
11	80	0.000	0.000	0.000	-0.0099	0.0152	-0.0188
12	90	-0.755	0.000	-2.520	-0.0036	-0.0055	-0.0331
13	100A	-0.464	-0.223	-3.286	-0.0093	-0.0117	-0.0375
14	100B	-0.259	-0.162	-3.426	-0.0099	-0.0132	-0.0398
15	110	0.000	0.000	-3.490	-0.0099	-0.0132	-0.0400

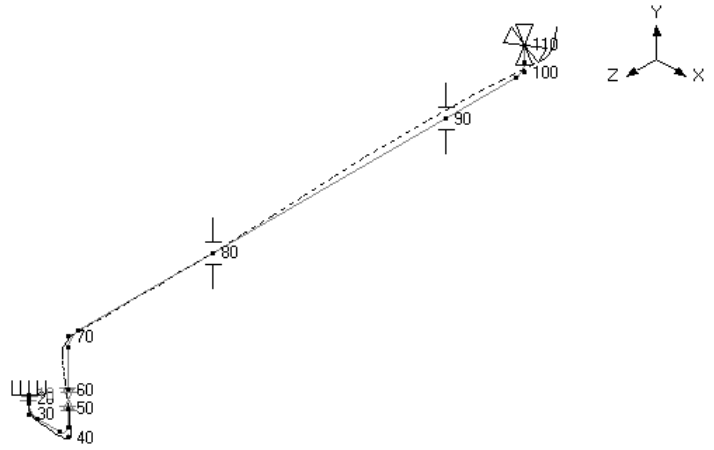


Imagen 154: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo10-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	-0.004	-0.039	0.000	0.0009	-0.0001	-0.0047
3	30A	-0.017	-0.083	-0.003	0.0021	-0.0002	-0.0099
4	30B	-0.127	-0.510	-0.066	0.0209	0.0086	-0.1151
5	40A	0.110	-1.665	-0.156	0.0313	0.0113	-0.1231
6	40B	0.639	-2.030	-0.066	0.0443	0.0163	-0.0943
7	50	1.268	-1.859	0.256	0.0481	0.0219	-0.0885
8	60	1.878	-1.683	0.607	0.0502	0.0276	-0.0838
9	70A	3.176	-1.279	1.414	0.0475	0.0407	-0.0780
10	70B	3.280	-1.045	1.473	0.0263	0.0554	-0.0696
11	80	0.000	0.000	0.000	-0.0033	0.0401	-0.0666
12	90	-0.755	0.000	-2.520	0.0066	-0.0055	-0.0614
13	100A	-0.631	-0.210	-3.286	-0.0124	-0.0033	-0.0599
14	100B	-0.382	-0.162	-3.438	-0.0130	-0.0027	-0.0590
15	110	0.000	0.000	-3.522	-0.0130	-0.0027	-0.0590

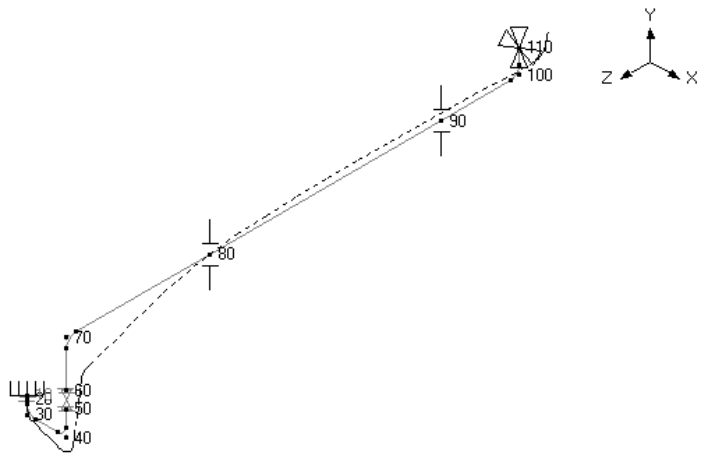


Imagen 155: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo10-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	0.0005	-0.0016	-0.0010
3	30A	-0.003	0.000	0.000	0.0011	-0.0034	-0.0023
4	30B	-0.064	-0.107	0.022	0.0042	-0.0167	-0.0431
5	40A	-0.064	-0.568	0.209	0.0103	-0.0222	-0.0551
6	40B	0.301	-0.871	0.403	0.0260	-0.0379	-0.1110
7	50	1.096	-0.871	0.592	0.0285	-0.0414	-0.1184
8	60	1.957	-0.871	0.801	0.0303	-0.0451	-0.1233
9	70A	3.989	-0.870	1.314	0.0326	-0.0535	-0.1253
10	70B	4.700	-0.735	1.447	0.0338	-0.0574	-0.1205
11	80	7.588	1.000	1.447	0.0214	-0.0248	-0.0878
12	90	3.729	1.000	1.448	-0.0231	0.0967	-0.0319
13	100A	0.400	0.128	1.448	-0.0315	0.1155	-0.0150
14	100B	-0.033	0.000	1.320	-0.0319	0.1213	-0.0059
15	110	0.000	0.000	1.113	-0.0319	0.1213	-0.0050

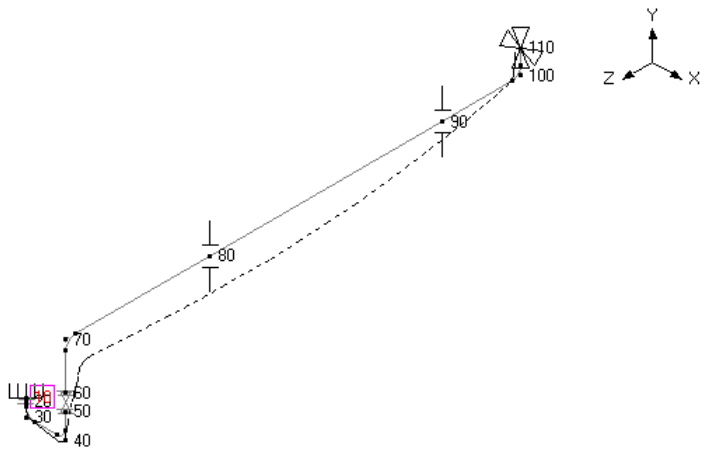


Imagen 156: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 10-A15-6"

8.2.4. Frecuencias

Este apartado es necesario verificar que el modelo es lo suficientemente rígido. En este caso, supera el límite recomendado de 2Hz con 2,66Hz.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.663	0.3756	-1.5862	0.2102	-0.5001	0.5411	0.0095	0.0538
2	3.719	0.2689	0.4089	-0.0379	-1.9014	0.0360	0.0003	0.7776
3	4.569	0.2188	0.4337	0.2888	-0.0337	0.0404	0.0179	0.0002
4	9.206	0.1086	0.7512	-0.4639	-0.0528	0.1214	0.0463	0.0006
5	15.271	0.0655	-0.4575	-1.2176	-0.0463	0.0450	0.3188	0.0005
6	21.146	0.0473	0.3792	0.0230	0.1319	0.0309	0.0001	0.0037
7	24.192	0.0413	-0.0609	-0.0622	0.7002	0.0008	0.0008	0.1054
8	52.539	0.0190	0.6180	0.0786	0.0209	0.0821	0.0013	0.0001
9					Total	0.8978	0.3952	0.9420

Imagen 157: valores para los diferentes modos de vibración

9. Simulación línea 11-A15-6”

9.1. Modelado de la línea en CaePipe

Esta línea es muy interesante de simular porque descansa la estación de control sobre un trunnio, y el resto de la línea se sustenta gracias al apoyo corto W y a la viga transversa CD.

9.2. Resultados del modelo

Como en las líneas anteriores, es necesario identificar los valores de la línea. Los valores se pueden encontrar en la “Memoria descriptiva”, apartado “5.4.10. Línea 11”

- Material tubería → A53 Grado B
- Diámetro → 6 pulgadas
- Clase → 150#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 200 °C
- Temperatura de diseño → 360°C
- Presión de operación → (desconocida) 10 bar
- Presión de diseño → 15 bar
- Material perfil → S275
- sección perfil → W 4x13

Como esta línea tiene un trunnio, habrá que declarar primero los valores de la tubería y después los del perfil. Ahora que ya conocemos los valores del modelo, declaramos el material y el viento como en los casos anteriores.

Imagen 158: sección de tubería del modelo 11-A15-6”

El siguiente valor por definir son las condiciones de trabajo para la tubería.

The 'Load # 1' dialog box is used to define working conditions. It includes a 'Load name' field with 'L1' and a checked 'Wind load' option. Under the 'Operating' section, there are ten pairs of input fields for Temperature (in °C) and Pressure (in bar), with Temperature 1 set to 200 and Pressure 1 to 10.0. The 'Design' section has Temperature set to 360 and Pressure to 15.0. At the bottom, 'Spec. gravity' is 0.9 and 'Add. weight' is empty, with a note that specific gravity is with respect to water. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Imagen 159: condiciones de trabajo para la línea 11-A15-6"

Con los valores de la tubería definidos, pasamos a definir los del perfil. Estos valores son:

The 'Beam material # 1' dialog box defines material properties. 'Material name' is '275'. 'Description' is empty. 'E' (Young's modulus) is 210 MPa, 'Nu' (Poisson's ratio) is 0.3, 'Density' is 7850 kg/m³, and 'Alpha' is empty. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Imagen 160: material para trunnio de línea 11-A15-6"

The 'Beam Section # 1' dialog box shows section properties for 'HE100'. 'Section name' is 'HE100' and 'Description' is 'W 4x13'. Properties include: Axial area (2470.96 mm²), Major moment of inertia (4.7034E+6 mm⁴), Minor moment of inertia (1.6067E+6 mm⁴), Torsional constant (62434.7 mm⁴), Major shear area, Minor shear area, Depth (4.16 inch), and Width (4.06 inch). 'OK', 'Cancel', and 'Library' buttons are at the bottom.

Imagen 161: elección del perfil para trunnio de línea 11-A15-6"

The 'Beam load # 1' dialog box shows environmental load settings. 'Load name' is 'LV'. It has ten temperature input fields (all empty) and an 'Add. weight' field (empty). The 'Wind load' checkbox is checked. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Imagen 162: carga ambiental para el perfil

Ahora que ya tenemos todas las condiciones declaradas, realizamos la programación del modelo.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 10-A15-6"								
2	10	From							Anchor
3	30	Bend		416		A53	6	L1	
4	40	Bend	813.2		-813.2	A53	6	L1	
5	60			-1348		A53	6	L1	Flange
6	70	Valve		-406.4		A53	6	L1	Flange
7	80	Bend		-320.5		A53	6	L1	
8	90		317.5			A53	6	L1	Flange
9	100	Valve	406.4			A53	6	L1	Flange
10	110	Bend	317.5			A53	6	L1	
11	120			320.5		A53	6	L1	Flange
12	130	Valve		406.4		A53	6	L1	Flange
13	150	Bend		1863.5		A53	6	L1	
14	160				-1754.6	A53	6	L1	Limit stop
15	170				-5791.2	A53	6	L1	Limit stop
16	180	Bend			-2493.2	A53	6	L1	
17	190			600		A53	6	L1	XY restraint
18	80A	Location							XYZ restraint
19	80A	From							
20	200	Beam		-600		275	HE100	LV	Anchor

Imagen 163: modelo 11-A15-6"

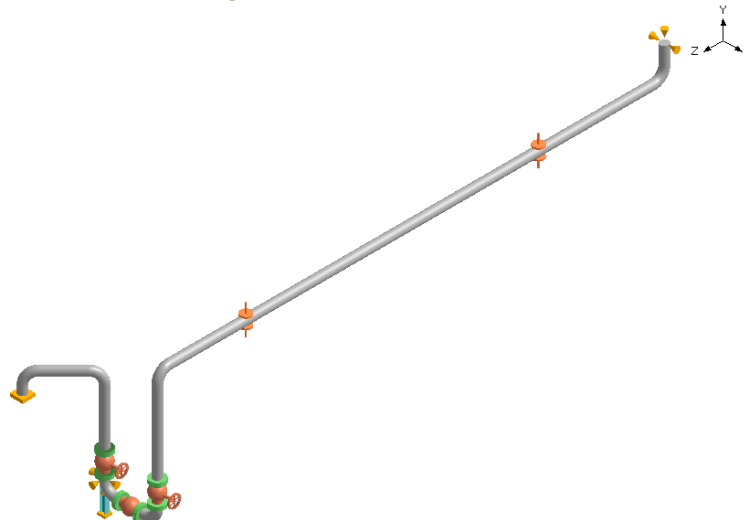


Imagen 164: representación gráfica del modelo 11-A15-6"

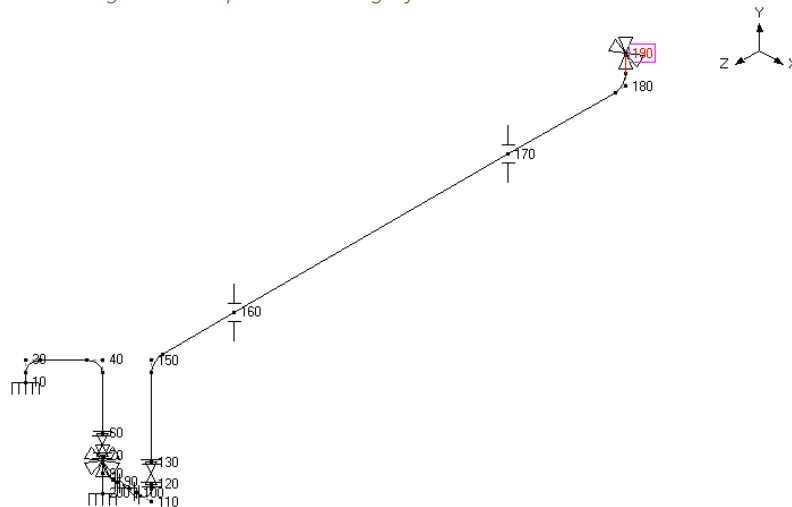


Imagen 165: representación a una línea del modelo con la ubicación de los nodos.

Las bridas de los nodos 60, 70, 90, 100, 120 y 130, son las mismas que se han utilizado en el modelo 10-A15-6" y está representado en las imágenes 139 y 140. Estas bridas son unas WeldNeck de 6" clase 150# RF y SCH estándar.

Las válvulas de los nodos 100 y 130 también son iguales que las del modelo 10-A15-6" y se han representado antes en las imágenes 141 y 142. Estas válvulas son unas válvulas de globo de 6" NPS RF y clase 150#.

9.2.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO/SHO
1	80A	25.03	137.3	0.18	40B	61.90	206.7	0.30	80A	34.01	182.6	0.19
2	160	21.74	137.3	0.16	30A	61.13	206.7	0.30	160	29.30	182.6	0.16
3	110B	16.15	137.3	0.12	40A	44.96	206.7	0.22	110B	29.17	182.6	0.16
4	70	15.66	137.3	0.11	10	32.36	206.7	0.16	110A	28.61	182.6	0.16
5	110A	14.56	137.3	0.11	30B	31.93	206.7	0.15	80B	25.53	182.6	0.14
6	150A	14.38	137.3	0.10	80A	29.10	206.7	0.14	70	21.08	182.6	0.12
7	80B	13.69	137.3	0.10	150A	23.93	206.7	0.12	120	19.15	182.6	0.10
8	60	13.40	137.3	0.10	150B	23.77	206.7	0.11	170	19.00	182.6	0.10
9	120	11.71	137.3	0.09	80B	20.73	206.7	0.10	100	18.97	182.6	0.10
10	150B	11.41	137.3	0.08	60	15.95	206.7	0.08	60	18.04	182.6	0.10
11	130	11.17	137.3	0.08	110B	15.19	206.7	0.07	150A	17.15	182.6	0.09
12	170	10.84	137.3	0.08	70	14.93	206.7	0.07	130	16.51	182.6	0.09
13	100	10.41	137.3	0.08	110A	12.64	206.7	0.06	90	16.38	182.6	0.09
14	40A	8.997	137.3	0.07	90	11.41	206.7	0.06	30B	16.14	182.6	0.09
15	30B	8.741	137.3	0.06	160	11.36	206.7	0.05	150B	15.13	182.6	0.08
16	90	8.694	137.3	0.06	100	9.860	206.7	0.05	10	15.02	182.6	0.08
17	10	8.258	137.3	0.06	120	9.410	206.7	0.05	30A	14.53	182.6	0.08
18	30A	7.891	137.3	0.06	130	7.434	206.7	0.04	40A	12.49	182.6	0.07
19	40B	6.618	137.3	0.05	170	7.185	206.7	0.03	180A	9.459	182.6	0.05
20	180A	6.611	137.3	0.05	180A	1.489	206.7	0.01	40B	8.935	182.6	0.05
21	180B	6.292	137.3	0.05	180B	0.670	206.7	0.00	180B	8.566	182.6	0.05
22	190	6.056	137.3	0.04	190	0.103	206.7	0.00	190	6.082	182.6	0.03

Imagen 166: resultados tensionales del modelo 11-A15-6"

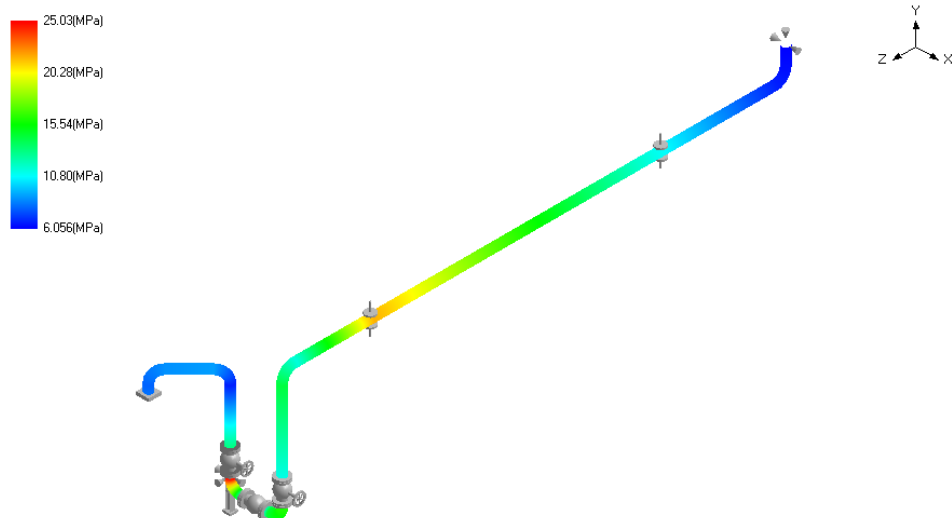


Imagen 167: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 11-A15-6"

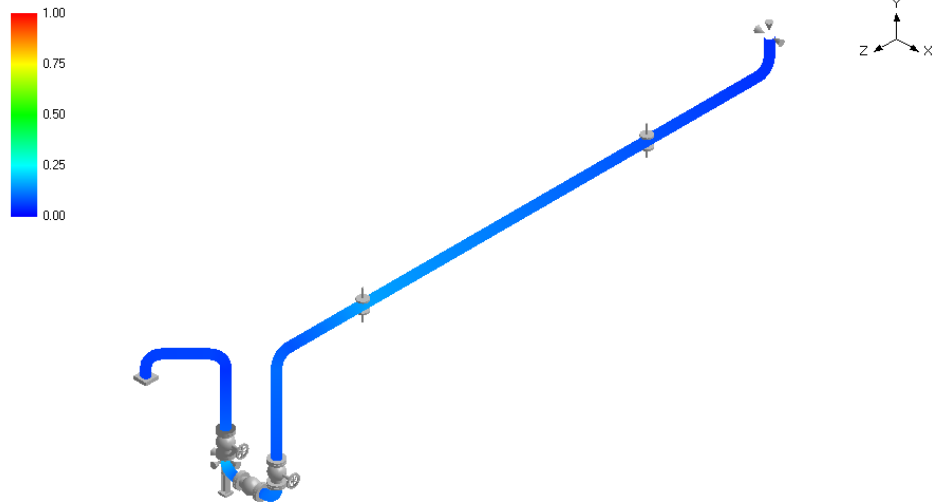


Imagen 168: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 11-A15-6"

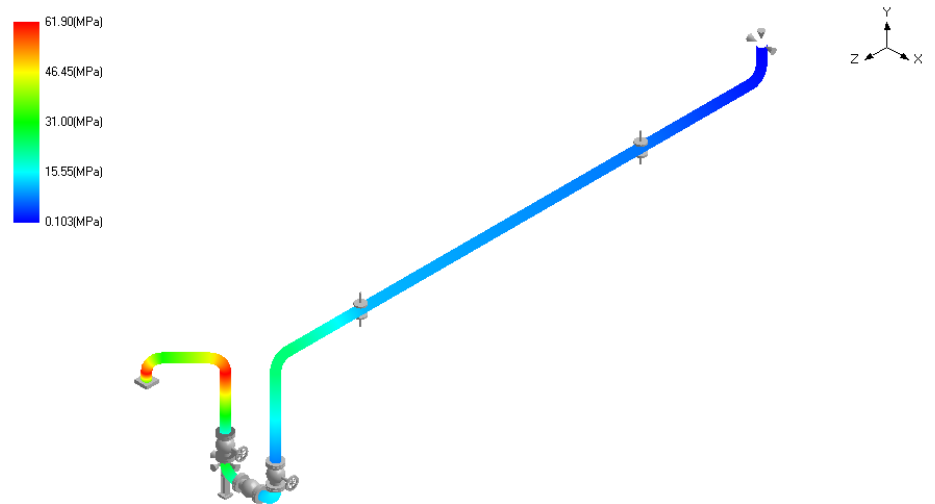


Imagen 169: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 11-A15-6"

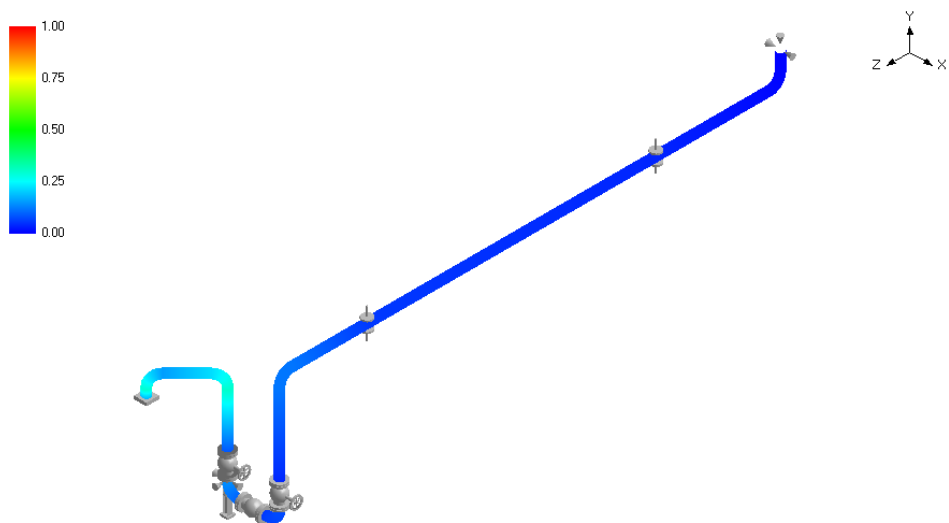


Imagen 170: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 11-A15-6"

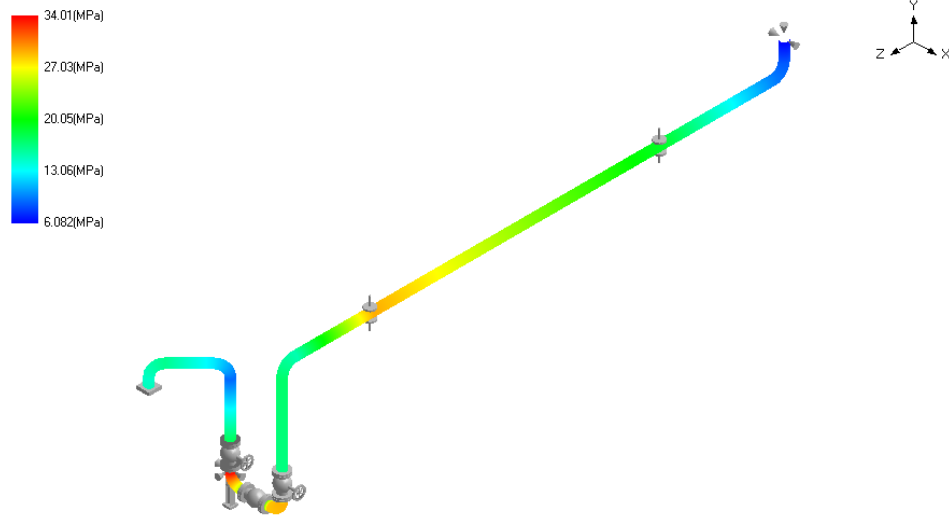


Imagen 171: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 11-A15-6"

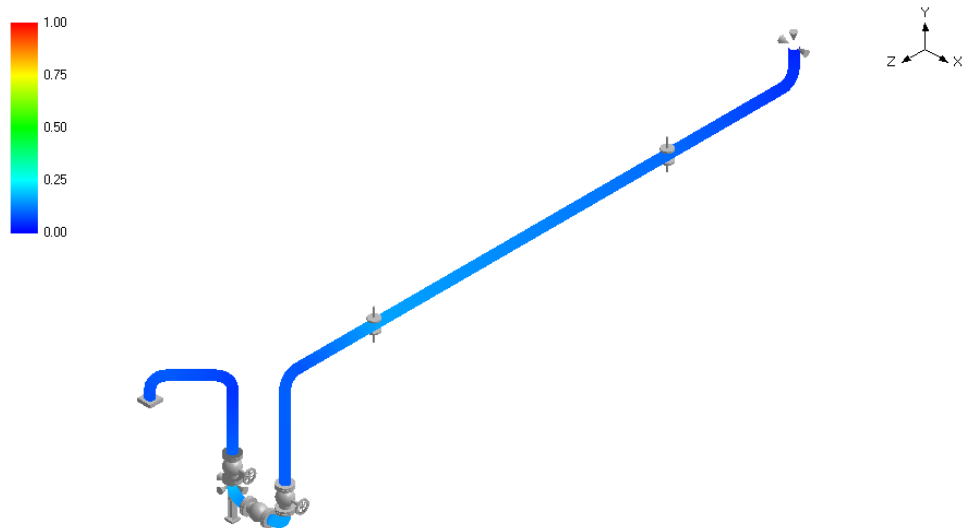


Imagen 172: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 11-A15-6"

9.2.2. Cargas en los soportes

El primer soporte que nos encontramos es el anclaje que une la línea con el intercambiador de calor E-101. El anclaje se encuentra en el nodo 10 y estos son sus resultados:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	810	-333	0	-80	-343	-229	0.000	0.000	0.000
Sustained	914	-492	4	-95	-384	-262	0.000	0.000	0.000
Operating1	152	5927	2130	3046	-1740	2291	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	1530	-516	385	96	-1264	-537	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	768	5903	2510	3237	-2620	2017	0.000	0.000	0.000
Maximum	1530	5927	2510	3237	-343	2291	0.000	0.000	0.000
Minimum	152	-516	0	-95	-2620	-537	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 173: resultados para el anclaje de la línea al intercambiador E-101

El siguiente punto de interés es el trunnio que hemos creado en el nodo 80A. Este trunnio se preparado para restringir los movimientos en los 3 ejes, pudiendo controlar así perfectamente las dilataciones y dando al modelo estabilidad.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Displacements (global)		
				X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1110	-5019	-273	0.000	0.000	0.000
Sustained	-1256	-5764	-321	0.000	0.000	0.000
Operating1	-574	-13907	-1342	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-713	-5390	114	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	-31	-13533	-907	0.000	0.000	0.000
Maximum	-31	-5019	114	0.000	0.000	0.000
Minimum	-1256	-13907	-1342	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 174: valores de la línea 11-A15-6" sobre el trunnio

El siguiente punto es el Limit stop que hemos puesto en el nodo 160 representando el punto donde la tubería se apoya en el soporte corto W

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-2536	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-3541	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-1422	426	9.772	0.000	-0.314
Sustained+Wind	-3948	122	8.431	0.000	3.451
Operating1+Wind	-1829	549	18.203	0.000	3.137
Maximum	-1422	549	18.203	0.000	3.451
Minimum	-3948	0	0.000	0.000	-0.314

Imagen 175: valores para el apoyo de la línea 11-A15-6" sobre el soporte corto W

El último punto soporte de esta línea, lo encontramos en el nodo 170 y es el punto donde la línea se apoya en la viga transversal CD.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1054	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-1840	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2607	782	1.272	0.000	-12.993
Sustained+Wind	-1840	0	4.957	0.767	3.452
Operating1+Wind	-2607	782	6.230	0.767	-9.541
Maximum	-1054	782	6.230	0.767	3.452
Minimum	-2607	0	0.000	0.000	-12.993

Imagen 176: valores para el apoyo de la línea 11-A15-6" sobre la viga transversal CD

9.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	30A	0.000	0.000	0.000	-0.0004	-0.0020	-0.0007
3	30B	0.030	-0.009	0.015	0.0008	-0.0102	-0.0025
4	40A	0.125	-0.013	0.109	0.0000	-0.0104	0.0009
5	40B	0.157	0.000	0.116	0.0043	-0.0032	0.0028
6	60	0.136	0.000	0.035	0.0040	0.0079	-0.0097
7	70	0.034	0.000	0.006	0.0039	0.0119	-0.0202
8	80A	0.000	0.000	0.000	0.0039	0.0128	-0.0231
9	80B	-0.194	-0.261	-0.089	0.0068	0.0218	-0.0807
10	90	-0.194	-0.388	-0.124	0.0066	0.0223	-0.0815
11	100	-0.194	-0.966	-0.289	0.0057	0.0240	-0.0786
12	110A	-0.194	-1.088	-0.327	0.0055	0.0242	-0.0772
13	110B	0.008	-1.338	-0.414	0.0033	0.0271	-0.0349
14	120	0.063	-1.338	-0.409	0.0033	0.0272	-0.0332
15	130	0.274	-1.338	-0.384	0.0040	0.0276	-0.0266
16	150A	0.781	-1.337	-0.118	0.0178	0.0291	-0.0124
17	150B	0.704	-1.184	0.000	0.0479	0.0299	-0.0098
18	160	0.000	0.000	0.000	0.0278	0.0198	-0.0079
19	170	0.000	0.000	0.000	0.0021	-0.0041	-0.0007
20	180A	0.038	-0.007	0.000	0.0010	0.0008	0.0021
21	180B	0.022	0.000	0.007	0.0020	0.0016	0.0033
22	190	0.000	0.000	0.020	0.0020	0.0016	0.0034
23	200	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

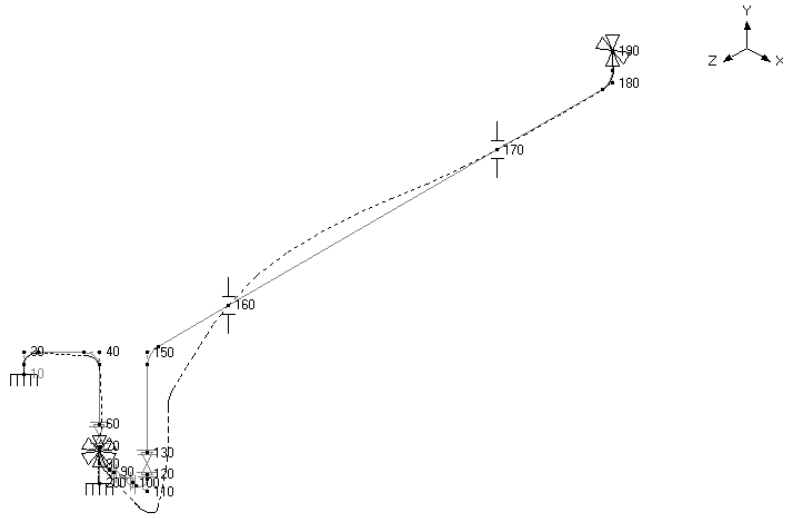


Imagen :177 desplazamientos en vacío (W) del modelo 11-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	30A	0.003	0.000	0.000	-0.0004	-0.0023	-0.0008
3	30B	0.034	-0.010	0.016	0.0007	-0.0112	-0.0028
4	40A	0.139	-0.016	0.120	0.0000	-0.0114	0.0012
5	40B	0.175	0.000	0.127	0.0048	-0.0032	0.0033
6	60	0.153	0.000	0.038	0.0044	0.0096	-0.0108
7	70	0.039	0.000	0.007	0.0043	0.0142	-0.0228
8	80A	0.000	0.000	0.000	0.0043	0.0152	-0.0260
9	80B	-0.218	-0.292	-0.104	0.0077	0.0254	-0.0906
10	90	-0.218	-0.436	-0.144	0.0074	0.0260	-0.0916
11	100	-0.218	-1.087	-0.337	0.0064	0.0280	-0.0887
12	110A	-0.218	-1.224	-0.381	0.0062	0.0282	-0.0872
13	110B	0.012	-1.508	-0.483	0.0038	0.0314	-0.0399
14	120	0.075	-1.508	-0.477	0.0039	0.0315	-0.0380
15	130	0.315	-1.509	-0.448	0.0047	0.0319	-0.0304
16	150A	0.895	-1.507	-0.137	0.0208	0.0335	-0.0142
17	150B	0.807	-1.330	0.000	0.0551	0.0343	-0.0112
18	160	0.000	0.000	0.000	0.0277	0.0227	-0.0091
19	170	0.000	0.000	0.000	0.0064	-0.0047	-0.0008
20	180A	0.043	-0.004	0.000	0.0002	0.0009	0.0024
21	180B	0.025	0.000	0.005	0.0014	0.0018	0.0037
22	190	0.000	0.000	0.014	0.0014	0.0018	0.0038
23	200	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

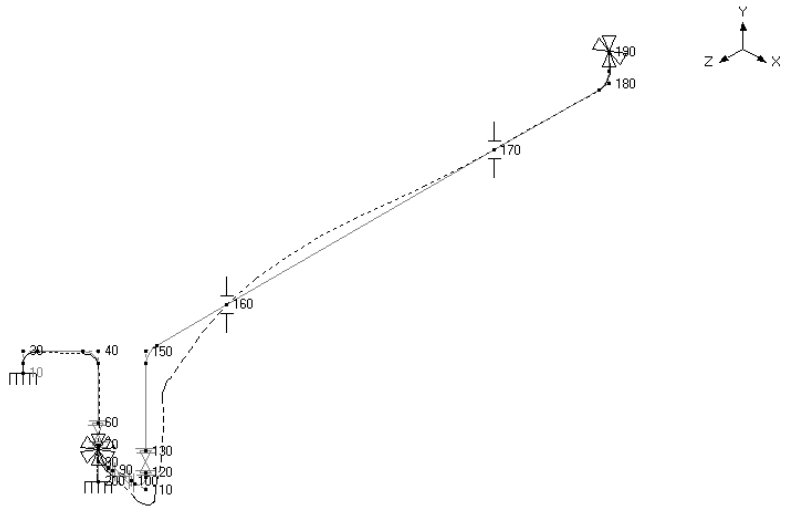


Imagen 178: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 11-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	30A	-0.020	0.412	0.025	0.0133	-0.0080	0.0112
3	30B	0.208	1.436	0.032	0.1415	-0.0513	0.1073
4	40A	1.787	3.618	-0.532	0.1366	-0.0647	0.1010
5	40B	2.411	3.529	-0.879	-0.0043	-0.0756	-0.0383
6	60	0.991	1.087	-0.334	-0.0390	-0.0843	-0.1026
7	70	0.196	0.200	-0.057	-0.0358	-0.0874	-0.1203
8	80A	0.000	0.000	0.000	-0.0339	-0.0881	-0.1239
9	80B	-0.120	-1.211	0.391	0.0005	-0.0760	-0.2045
10	90	0.075	-1.532	0.510	0.0038	-0.0759	-0.2068
11	100	0.965	-3.031	1.042	0.0193	-0.0726	-0.2134
12	110A	1.160	-3.363	1.155	0.0227	-0.0713	-0.2139
13	110B	2.511	-3.720	1.550	0.0475	-0.0612	-0.2095
14	120	2.846	-3.519	1.628	0.0496	-0.0586	-0.2090
15	130	4.322	-2.630	2.007	0.0558	-0.0471	-0.2074
16	150A	10.191	0.947	3.501	0.0361	-0.0006	-0.2053
17	150B	10.941	1.383	3.026	-0.0441	0.0267	-0.1943
18	160	9.772	0.000	-0.314	-0.0422	0.0579	-0.1976
19	170	1.272	0.000	-12.993	-0.0114	0.0872	-0.2100
20	180A	-1.957	-1.154	-17.953	-0.0390	0.0787	-0.2148
21	180B	-1.407	-0.813	-18.616	-0.0407	0.0774	-0.2168
22	190	0.000	0.000	-18.880	-0.0407	0.0774	-0.2170
23	200	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

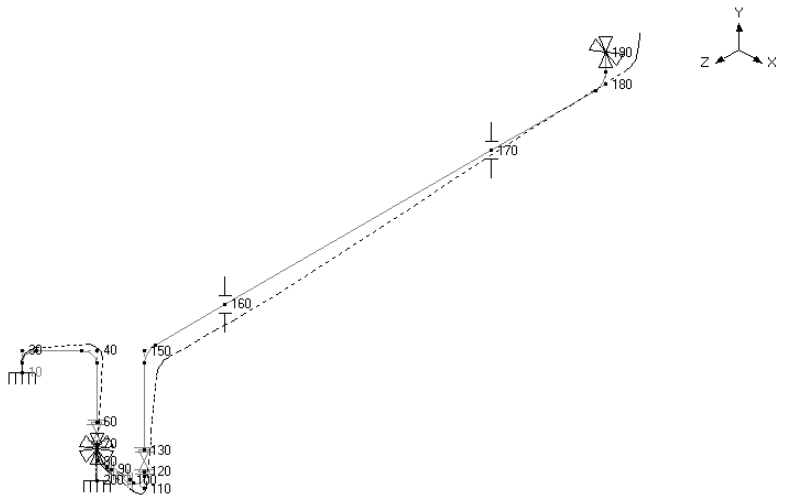


Imagen 179: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 11-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	30A	-0.017	0.412	0.024	0.0129	-0.0102	0.0104
3	30B	0.242	1.426	0.049	0.1422	-0.0626	0.1045
4	40A	1.926	3.602	-0.412	0.1356	-0.0761	0.1022
5	40B	2.586	3.527	-0.751	0.0005	-0.0787	-0.0351
6	60	1.144	1.086	-0.296	-0.0346	-0.0747	-0.1135
7	70	0.235	0.200	-0.050	-0.0315	-0.0732	-0.1431
8	80A	0.000	0.000	0.000	-0.0296	-0.0729	-0.1499
9	80B	-0.338	-1.504	0.287	0.0081	-0.0505	-0.2951
10	90	-0.143	-1.967	0.366	0.0113	-0.0498	-0.2984
11	100	0.747	-4.118	0.705	0.0257	-0.0447	-0.3020
12	110A	0.941	-4.588	0.774	0.0288	-0.0431	-0.3011
13	110B	2.523	-5.229	1.067	0.0514	-0.0299	-0.2493
14	120	2.921	-5.028	1.152	0.0534	-0.0271	-0.2470
15	130	4.638	-4.138	1.560	0.0604	-0.0152	-0.2378
16	150A	11.086	-0.559	3.364	0.0569	0.0329	-0.2195
17	150B	11.747	0.053	3.027	0.0110	0.0630	-0.2055
18	160	9.772	0.000	-0.314	-0.0145	0.0806	-0.2066
19	170	1.272	0.000	-12.993	-0.0051	0.0825	-0.2108
20	180A	-1.914	-1.158	-17.953	-0.0388	0.0796	-0.2125
21	180B	-1.382	-0.814	-18.611	-0.0393	0.0792	-0.2131
22	190	0.000	0.000	-18.866	-0.0393	0.0792	-0.2132
23	200	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

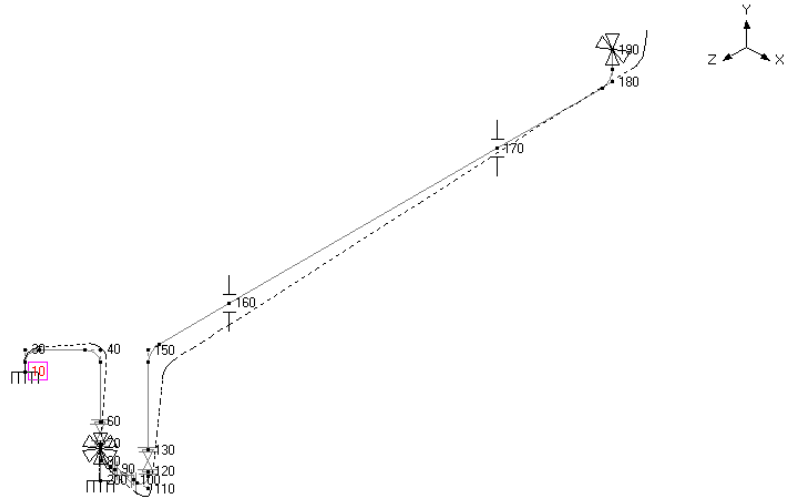


Imagen 180: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 11-A15-6”

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	30A	0.003	0.000	0.000	0.0007	-0.0052	-0.0010
3	30B	0.084	0.000	0.081	0.0121	-0.0338	-0.0125
4	40A	0.419	-0.003	0.415	0.0132	-0.0428	-0.0130
5	40B	0.508	0.000	0.498	0.0140	-0.0511	-0.0120
6	60	0.210	0.000	0.182	0.0192	-0.0592	-0.0208
7	70	0.044	0.000	0.036	0.0220	-0.0621	-0.0266
8	80A	0.000	0.000	0.000	0.0226	-0.0627	-0.0281
9	80B	-0.172	-0.223	0.142	0.0314	-0.0637	-0.0743
10	90	-0.172	-0.340	0.242	0.0325	-0.0640	-0.0763
11	100	-0.172	-0.915	0.639	0.0375	-0.0643	-0.0864
12	110A	-0.172	-1.051	0.798	0.0386	-0.0642	-0.0888
13	110B	0.345	-1.498	1.231	0.0490	-0.0660	-0.1516
14	120	0.590	-1.498	1.310	0.0497	-0.0656	-0.1538
15	130	1.713	-1.497	1.672	0.0521	-0.0638	-0.1619
16	150A	6.953	-1.497	3.231	0.0566	-0.0568	-0.1706
17	150B	7.416	-1.279	3.451	0.0529	-0.0458	-0.1580
18	160	8.431	0.000	3.451	0.0398	-0.0269	-0.1412
19	170	4.957	0.767	3.452	-0.0144	0.1022	-0.0772
20	180A	0.101	0.075	3.452	-0.0190	0.1347	-0.0522
21	180B	-0.265	0.000	3.377	-0.0185	0.1414	-0.0418
22	190	0.000	0.000	3.258	-0.0184	0.1414	-0.0408
23	200	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

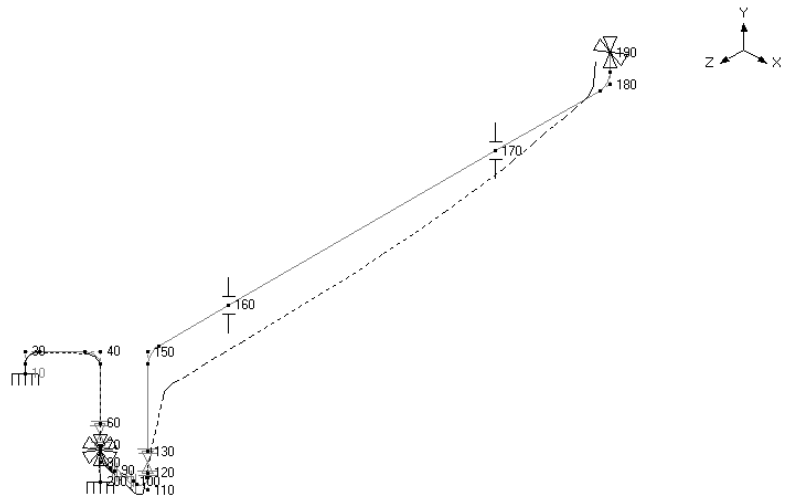


Imagen 181: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 11-A15-6”

9.2.4. Frecuencias

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.382	0.4198	-0.9089	0.2361	-1.5948	0.1164	0.0079	0.3583
2	3.197	0.3128	-1.1259	0.1614	1.2314	0.1786	0.0037	0.2136
3	4.939	0.2025	-0.8233	-0.1991	-0.0324	0.0955	0.0056	0.0001
4	10.156	0.0985	0.1404	-0.4808	-1.0163	0.0028	0.0326	0.1455
5	13.331	0.0750	-0.0289	-1.4090	0.3653	0.0001	0.2797	0.0188
6	16.787	0.0596	-0.7225	-0.4371	-0.1511	0.0735	0.0269	0.0032
7	20.754	0.0482	-0.1163	-0.2265	-0.2680	0.0019	0.0072	0.0101
8	30.228	0.0331	-0.3784	-0.1815	-0.3710	0.0202	0.0046	0.0194
9	50.207	0.0199	0.9465	0.1271	0.1122	0.1262	0.0023	0.0018
10					Total	0.6151	0.3704	0.7709

Imagen 182: valores de las frecuencias naturales del modelo 11-A15-6”

10. Simulación línea 14-A15-6”

La línea 14-A15-6” es interesante por estar sustentada en el apoyo largo Ñ y en la viga transversal AB del rack.

10.1. Modelado de la línea en CaePipe

Los valores de la línea los podemos encontrar en la “Memoria descriptiva” apartado “5.4.13 Línea 14” y son los siguientes:

- Material → A53 Grado B
- Diámetro → 6 pulgadas
- Clase → 150#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 50 °C
- Temperatura de diseño → 75 °C
- Presión de operación → (desconocida) 5 bar
- Presión de diseño → 10 bar

Como en los casos anteriores, una vez conocidos los datos de la línea procedemos a introducirlos en el modelo. Primero declaramos el material y el viento como en el resto de las líneas y introducimos la sección y condiciones de carga como se ve a continuación:

Section #1

Section name: [] ANSI DIN JIS ISO

Nominal diameter: 6" Schedule: STD

Outside diameter: 6.625 (inch) Thickness: 0.28 (inch)

Corrosion allowance: [] (inch) Mill tolerance: [] (%)

Insulation: Density: [] (kg/m3) Thickness: [] (inch)

Lining: Density: [] (kg/m3) Thickness: [] (inch)

OK Cancel Insulation Soil: []

Imagen 183: valores para la sección de la línea 14-A15-6”

Load #1

Load name: L1 Wind load

Operating

Temperature 1: 50 (C) Pressure 1: 5.00 (bar)

Temperature 2: [] (C) Pressure 2: [] (bar)

Temperature 3: [] (C) Pressure 3: [] (bar)

Temperature 4: [] (C) Pressure 4: [] (bar)

Temperature 5: [] (C) Pressure 5: [] (bar)

Temperature 6: [] (C) Pressure 6: [] (bar)

Temperature 7: [] (C) Pressure 7: [] (bar)

Temperature 8: [] (C) Pressure 8: [] (bar)

Temperature 9: [] (C) Pressure 9: [] (bar)

Temperature 10: [] (C) Pressure 10: [] (bar)

Design

Temperature: 75 (C) Pressure: 10.0 (bar)

Spec. gravity: 0.9 Add. weight: [] (kg/m)

OK Cancel Specific gravity is with respect to water

Imagen 184: valores de la condición de trabajo de la línea 14-A15-6”

Con todas las condiciones de trabajo declaradas comenzamos con la programación del modelo.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 14-A15-6								
2	10	From							Anchor
3	15			89		A53	6	L1	Flange
4	20	Valve		406		A53	6	L1	
5	30			89		A53	6	L1	Flange
6	40	Bend		760		A53	6	L1	
7	50	Bend	-457			A53	6	L1	
8	60				-1676.4	A53	6	L1	Limit stop
9	70				-7620	A53	6	L1	Limit stop
10	80	Bend			-2950.4	A53	6	L1	
11	90			648		A53	6	L1	XY restraint

Imagen 185: configuración del modelo 14-A15-6" en CaePipe

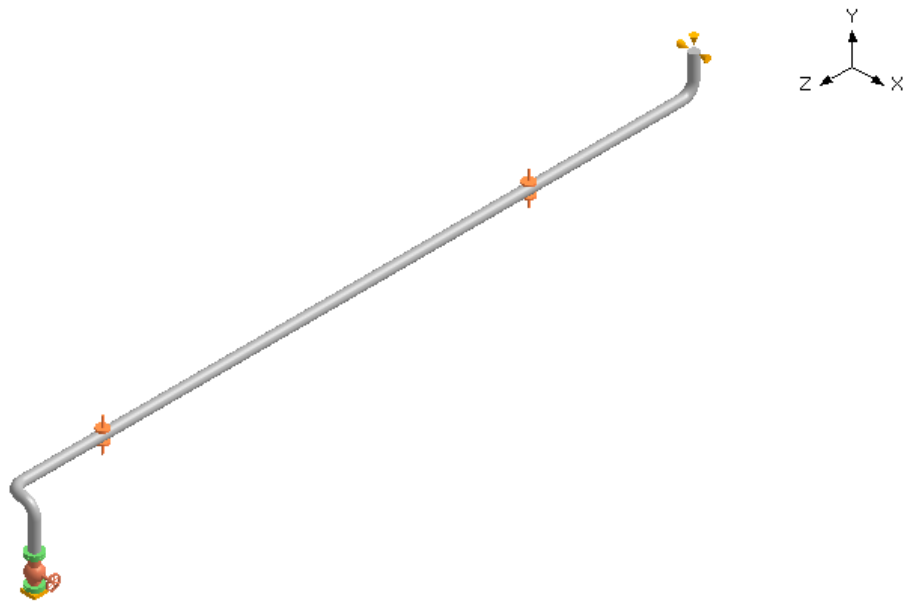


Imagen 186: Representación en grafica del modelo introducido en CaePipe

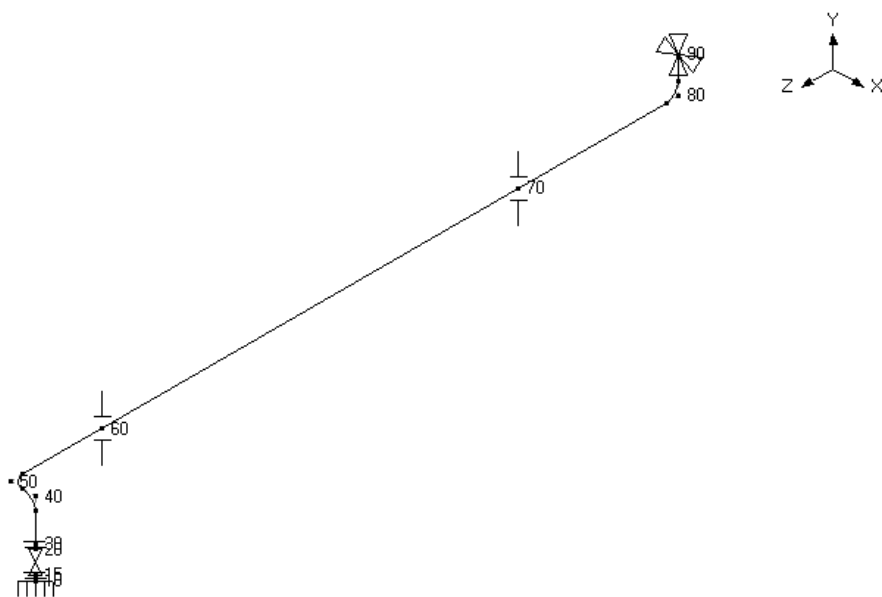


Imagen 187: representación en alambre del modelo localizando todos los nodos.

Las dos bridas (nodos 15 y 30) que se montan en esta línea, son unas WeldNeck de 6" clase 150# RF y SCH estándar, se muestran en la imagen 139 y se introducen como se muestran en la imagen 140.

En esta línea hay una válvula de globo de 6" NPS RF y clase 150# en el nodo 20. Se muestran las dimensiones y como introducirla en el modelo en las imágenes_ y _ respectivamente.

Ahora que está el modelo listo, procedemos a elegir los 6 estudios, guardamos el programa y ejecutamos el análisis.

10.2. Resultados del modelo

10.2.1. Tensiones

#	Sustained			Expansion			Occasional					
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+SO (MPa)	SHD (MPa)	SL+SO/SHD
1	60	16.33	137.9	0.12	10	13.33	206.8	0.06	70	22.54	183.4	0.12
2	70	15.69	137.9	0.11	15	12.19	206.8	0.06	60	20.32	183.4	0.11
3	40A	6.801	137.9	0.05	50B	9.424	206.8	0.05	10	12.88	183.4	0.07
4	40B	5.047	137.9	0.04	20	7.137	206.8	0.03	40A	12.79	183.4	0.07
5	30	4.861	137.9	0.04	30	6.092	206.8	0.03	50A	12.68	183.4	0.07
6	20	4.763	137.9	0.03	40A	4.998	206.8	0.02	15	12.49	183.4	0.07
7	50A	4.734	137.9	0.03	40B	4.936	206.8	0.02	40B	12.08	183.4	0.07
8	15	4.291	137.9	0.03	50A	4.836	206.8	0.02	20	11.34	183.4	0.06
9	10	4.269	137.9	0.03	60	2.801	206.8	0.01	30	11.14	183.4	0.06
10	50B	4.081	137.9	0.03	70	1.475	206.8	0.01	50B	10.69	183.4	0.06
11	80B	3.099	137.9	0.02	80A	0.236	206.8	0.00	80A	5.458	183.4	0.03
12	90	3.039	137.9	0.02	80B	0.154	206.8	0.00	80B	5.203	183.4	0.03
13	80A	3.023	137.9	0.02	90	0.014	206.8	0.00	90	3.096	183.4	0.02

Imagen 188: resultados tensionales del modelo 14-A15-6"

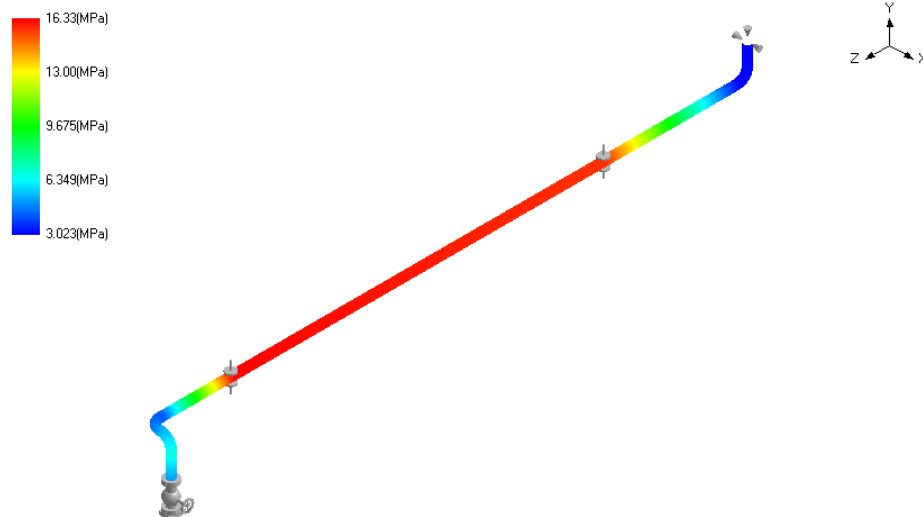


Imagen 189: representación grafica de las tensiones SL del modelo 14-A15-6"

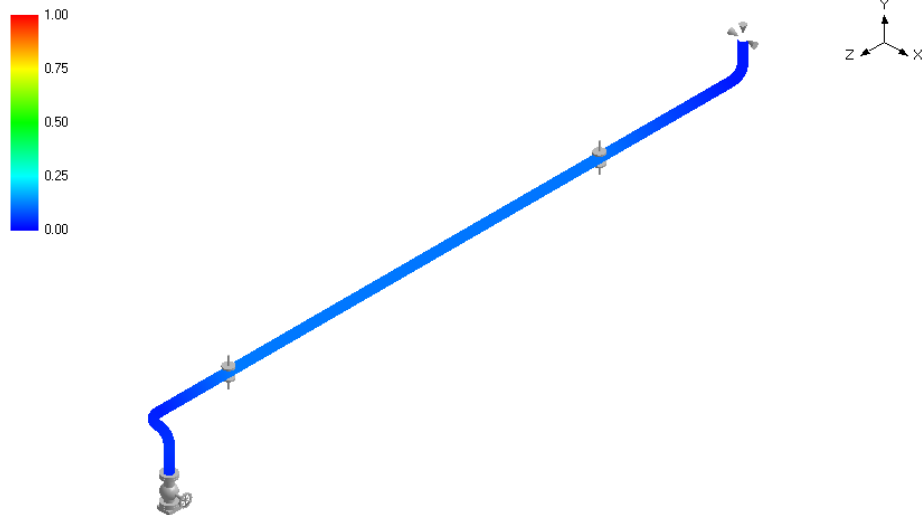


Imagen 190: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 14-A15-6"

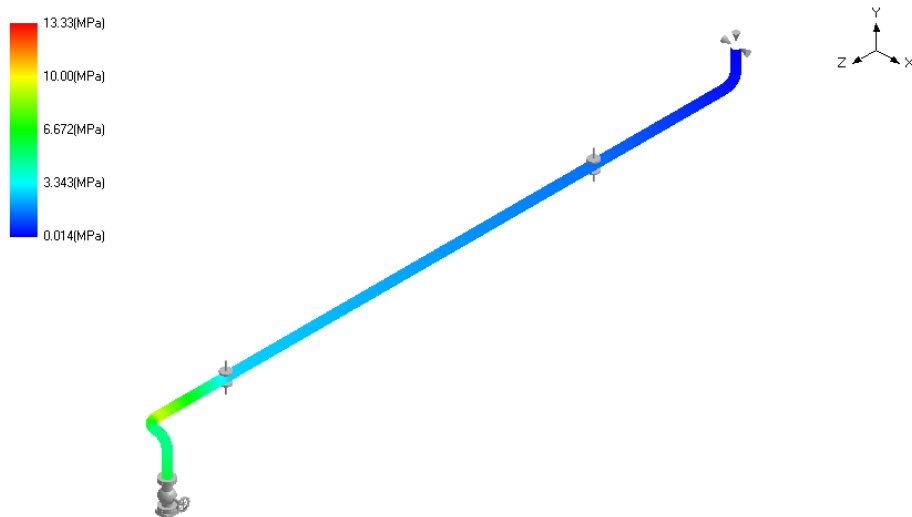


Imagen 191: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 14-A15-6"

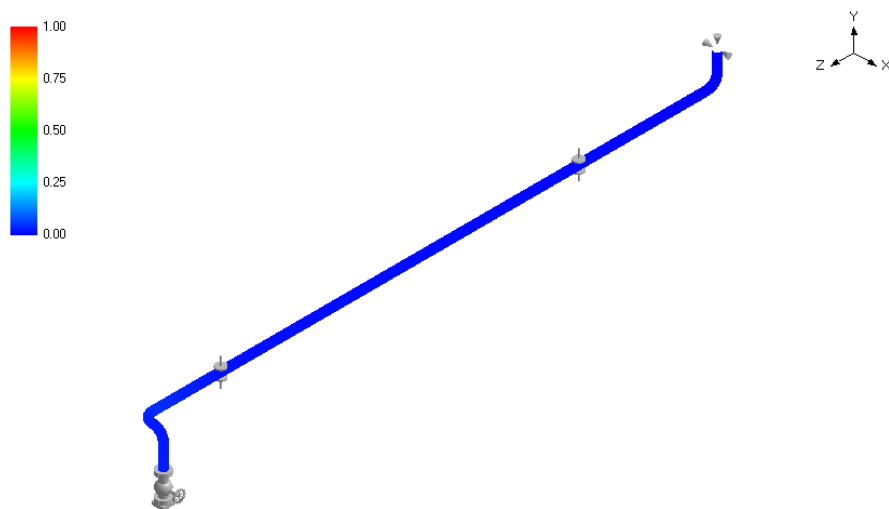


Imagen 192: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 14-A15-6"

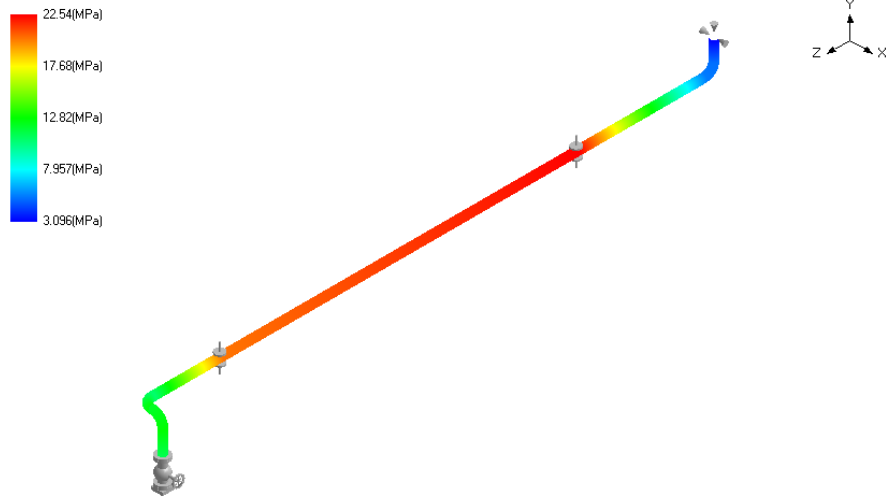


Imagen 193: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 14-A15-6"

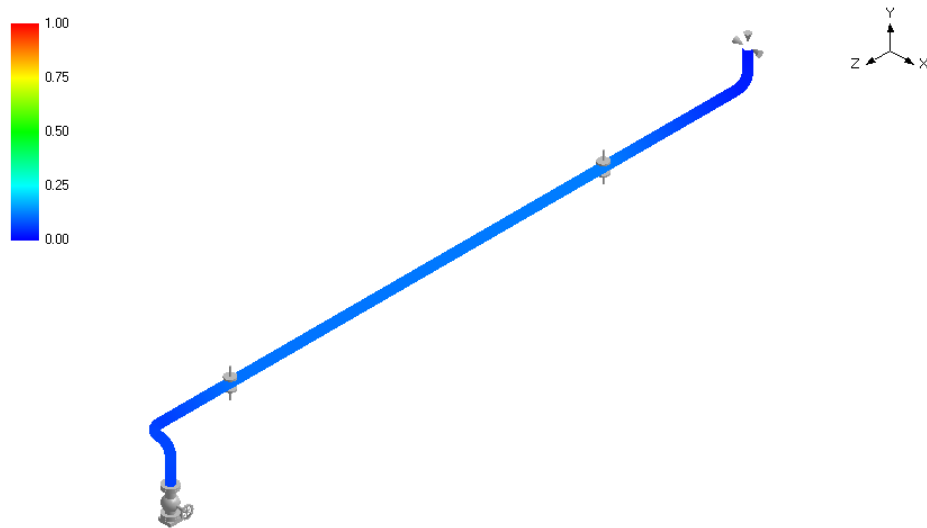


Imagen 194: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 14-A15-6"

10.2.2. Cargas en los soportes

Esta línea se sostiene por tres puntos. El primero de ellos es el anclaje en el nodo 10 que une la línea con el intercambiador de calor E-102. Los resultados en este punto son:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-57	-1098	-94	-65	-3	-124	0.000	0.000	0.000
Sustained	-91	-1065	-150	-104	-5	-198	0.000	0.000	0.000
Operating1	241	-1619	1647	1676	385	-407	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	651	-502	67	495	-562	-1047	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	983	-1056	1863	2275	-171	-1256	0.000	0.000	0.000
Maximum	983	-502	1863	2275	385	-124	0.000	0.000	0.000
Minimum	-91	-1619	-150	-104	-562	-1256	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 195: valores del anclaje de la línea 14-A15-6" al intercambiador E-102

El siguiente punto donde se descansa la línea es en el soporte largo Ñ, se conectan en el nodo 60 mediante un Limit stop-. Los valores que transmiten son los siguientes:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-2023	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-3225	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2612	784	-0.022	0.000	-0.067
Sustained+Wind	-3225	0	2.122	0.874	-0.067
Operating1+Wind	-2612	784	2.100	0.874	-0.134
Maximum	-2023	784	2.122	0.874	0.000
Minimum	-3225	0	-0.022	0.000	-0.134

Imagen 196: valores del modelo 14-A15-6" sobre soporte largo Ñ

El último punto de apoyo de la línea es sobre es la viga transversal AB del rack principal. La conexión se da en el nodo 70 mediante un Limit stop. Los resultados son los siguientes:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1832	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-2920	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-3031	909	0.007	0.000	-2.508
Sustained+Wind	-2405	154	4.730	1.000	-0.066
Operating1+Wind	-2516	1064	4.737	1.000	-2.574
Maximum	-1832	1064	4.737	1.000	0.000
Minimum	-3031	0	0.000	0.000	-2.574

Imagen197 : valores del apoyo de la línea 14-A15-6" sobre la viga transversal AB

10.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	-0.0003
3	20	0.007	0.000	-0.003	-0.0005	0.0000	-0.0016
4	30	0.009	0.000	-0.004	-0.0005	-0.0001	-0.0020
5	40A	0.038	0.000	-0.009	-0.0003	-0.0001	-0.0042
6	40B	0.069	0.042	-0.005	0.0014	0.0009	-0.0134
7	50A	0.069	0.042	-0.005	0.0014	0.0009	-0.0134
8	50B	0.062	0.111	0.000	0.0019	0.0025	-0.0154
9	60	0.000	0.000	0.000	-0.0177	0.0019	-0.0149
10	70	0.000	0.000	0.000	0.0193	0.0013	-0.0124
11	80A	-0.114	0.023	0.000	-0.0059	0.0030	-0.0114
12	80B	-0.081	0.000	-0.023	-0.0058	0.0032	-0.0111
13	90	0.000	0.000	-0.065	-0.0058	0.0032	-0.0111

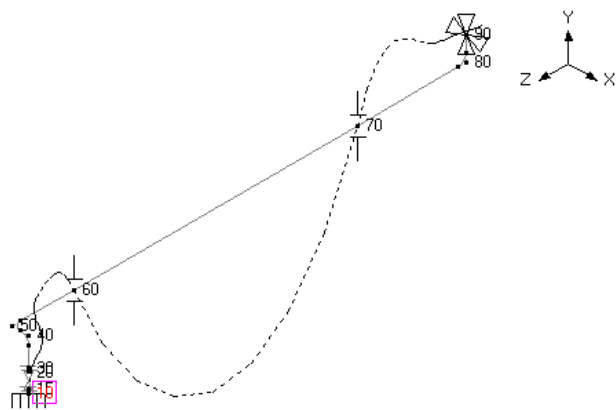


Imagen 198: desplazamientos en vacío (W) del modelo 14-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0002	0.0000	-0.0004
3	20	0.011	0.000	-0.005	-0.0008	-0.0001	-0.0026
4	30	0.015	0.000	-0.006	-0.0009	-0.0001	-0.0032
5	40A	0.060	0.000	-0.014	-0.0006	-0.0002	-0.0067
6	40B	0.111	0.068	-0.009	0.0023	0.0015	-0.0213
7	50A	0.111	0.068	-0.009	0.0023	0.0015	-0.0213
8	50B	0.099	0.177	0.000	0.0030	0.0039	-0.0245
9	60	0.000	0.000	0.000	-0.0283	0.0031	-0.0237
10	70	0.000	0.000	0.000	0.0308	0.0020	-0.0196
11	80A	-0.181	0.037	0.000	-0.0094	0.0048	-0.0182
12	80B	-0.129	0.000	-0.037	-0.0092	0.0051	-0.0177
13	90	0.000	0.000	-0.104	-0.0092	0.0051	-0.0176

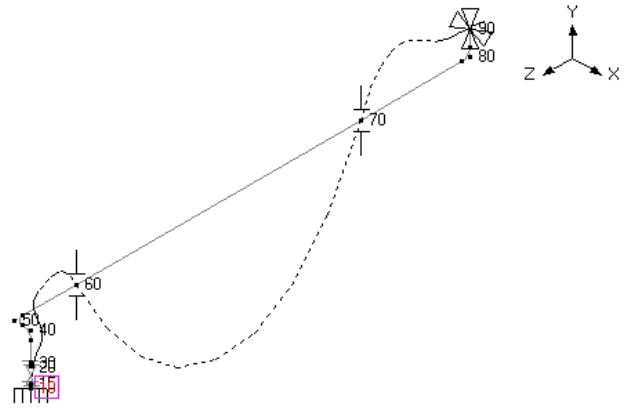


Imagen 199: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 14-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.029	0.004	0.0036	0.0011	-0.0004
3	20	0.009	0.159	0.083	0.0159	0.0061	-0.0015
4	30	0.012	0.187	0.110	0.0177	0.0071	-0.0016
5	40A	0.025	0.358	0.305	0.0209	0.0137	-0.0006
6	40B	-0.060	0.409	0.429	0.0101	0.0127	0.0086
7	50A	-0.060	0.409	0.429	0.0101	0.0127	0.0086
8	50B	-0.155	0.355	0.395	-0.0096	-0.0017	0.0188
9	60	-0.022	0.000	-0.067	-0.0134	-0.0057	0.0181
10	70	0.007	0.000	-2.508	-0.0004	-0.0008	0.0143
11	80A	0.127	-0.185	-3.384	-0.0058	-0.0034	0.0129
12	80B	0.091	-0.135	-3.481	-0.0060	-0.0037	0.0124
13	90	0.000	0.000	-3.525	-0.0060	-0.0037	0.0124

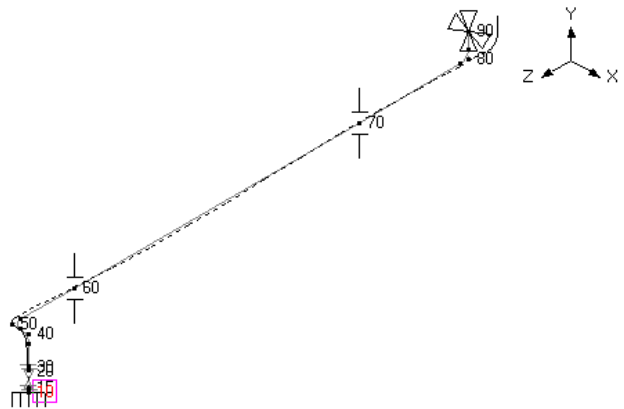


Imagen 200: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 14-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.028	0.004	0.0034	0.0011	-0.0009
3	20	0.020	0.158	0.078	0.0151	0.0060	-0.0041
4	30	0.027	0.187	0.104	0.0168	0.0070	-0.0047
5	40A	0.085	0.358	0.292	0.0204	0.0135	-0.0073
6	40B	0.051	0.476	0.421	0.0124	0.0141	-0.0127
7	50A	0.051	0.476	0.421	0.0124	0.0141	-0.0127
8	50B	-0.056	0.533	0.395	-0.0066	0.0022	-0.0056
9	60	-0.022	0.000	-0.067	-0.0416	-0.0026	-0.0056
10	70	0.007	0.000	-2.508	0.0304	0.0012	-0.0053
11	80A	-0.054	-0.148	-3.384	-0.0152	0.0013	-0.0053
12	80B	-0.038	-0.135	-3.518	-0.0153	0.0014	-0.0052
13	90	0.000	0.000	-3.630	-0.0153	0.0014	-0.0052

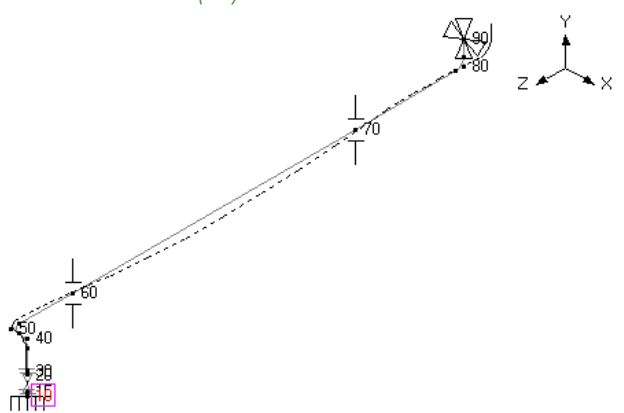


Imagen 201: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 14-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	0.0013	-0.0016	-0.0018
3	20	0.040	0.000	0.030	0.0066	-0.0086	-0.0080
4	30	0.054	0.000	0.041	0.0076	-0.0102	-0.0090
5	40A	0.158	0.000	0.140	0.0134	-0.0195	-0.0123
6	40B	0.210	0.049	0.111	0.0190	-0.0329	-0.0091
7	50A	0.210	0.049	0.111	0.0190	-0.0329	-0.0091
8	50B	0.422	0.168	-0.067	0.0265	-0.0635	-0.0060
9	60	2.122	0.874	-0.067	0.0254	-0.0661	0.0079
10	70	4.730	1.000	-0.066	-0.0165	0.0447	0.0806
11	80A	1.618	0.084	-0.066	-0.0209	0.0774	0.1066
12	80B	0.853	0.000	-0.150	-0.0208	0.0830	0.1157
13	90	0.000	0.000	-0.302	-0.0207	0.0830	0.1167

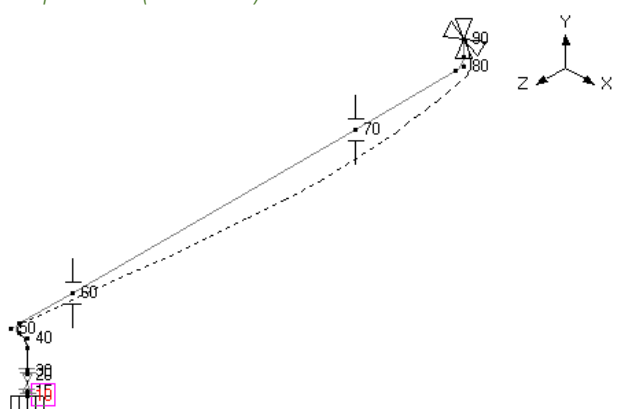


Imagen 202: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 14-A15-6"

10.2.4. Frecuencias

En este apartado tenemos que verificar que nuestra línea tenga suficiente estabilidad. Como se puede ver en la siguiente imagen, de momento es el modelo con mejores resultados, con un primer modo a 3,3Hz muy por encima del mínimo recomendable y un segundo modo muy próximo a 8Hz

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	3.317	0.3015	-1.5309	0.0034	0.1115	0.5369	0.0000	0.0028
2	7.880	0.1269	0.4313	0.0304	-0.7499	0.0426	0.0002	0.1288
3	12.076	0.0828	-0.1191	-0.0213	-1.6898	0.0033	0.0001	0.6541
4	13.253	0.0755	0.7718	-0.0140	0.4349	0.1365	0.0000	0.0433
5	36.022	0.0278	-0.6386	-0.2223	0.0558	0.0934	0.0113	0.0007
6					Total	0.8126	0.0117	0.8299

Imagen 203: modos de vibración para el modelo 14-A15-6"

11. Simulación línea 15-A15-6"

La línea 15-A15-6" se simula para ver su comportamiento sobre sus apoyos. Estos apoyos son el soporte largo Ñ y la viga transversal AB.

11.1. Modelado de la línea en CaePipe

Esta línea es la encargada de llevar el refrigerante al intercambiador condensador E-102. No sabemos a qué temperatura va ese refrigerante, pero sabiendo que el punto de ebullición del propano es de -42°C, se supondrá que este refrigerante ira un poco por debajo, alrededor de los -50°C.

- Material → A53 Grado B
- Diámetro → 6 pulgadas
- Clase → 150#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) -50 °C
- Temperatura de diseño → 0°C
- Presión de operación → (desconocida) 5 bar
- Presión de diseño → 10 bar

Ahora que conocemos los valores que definen la línea, procedemos a declararlos. Este paso es igual que en la línea anterior (14-A15-6"), el material, la sección y el viento se declaran de la misma forma (imagen 183), la única variedad son las condiciones e trabajo creadas por el refrigerante y se introducen de la siguiente manera:

Imagen 204: condiciones de trabajo de la línea.

Con todos los valores declarados, procedemos a la configuración del modelo.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 15-A15-6"								
2	10	From							Anchor
3	15			-89		A53	6		Flange
4	20	Valve		-406		A53	6	L1	
5	30			-89		A53	6	L1	Flange
6	40	Bend		-317.5		A53	6	L1	
7	50	Bend	-1000			A53	6	L1	
8	60	Bend		2950		A53	6	L1	
9	70				-1676.4	A53	6	L1	Limit stop
10	80				-7620	A53	6	L1	Limit stop
11	90	Bend			-3406.8	A53	6	L1	
12	100			610		A53	6	L1	XY restraint

Imagen 205: configuración del modelo 15-A15-6" en CaePipe

Las dos bridas (nodos 15 y 30) que se montan en esta línea, son unas WeldNeck de 6" clase 150# RF y SCH estándar, se muestran en la imagen 139 y se introducen como se muestran en la imagen 140.

En esta línea hay una válvula de globo de 6" NPS RF y clase 150# en el nodo 20. Se muestran las dimensiones y como introducirla en el modelo en las imágenes_ y _ respectivamente.

11.2. Resultados del modelo

Al parecerse bastante esta línea con la anterior, se podrá apreciar la diferencia en las cargas térmicas sobre todo al tener dos condiciones de trabajo completamente diferentes.

11.2.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+S0 (MPa)	SH0 (MPa)	SL+S0 SH0
1	70	18.03	137.9	0.13	60A	13.70	206.8	0.07	80	28.95	183.4	0.16
2	80	15.06	137.9	0.11	60B	11.61	206.8	0.06	50A	28.88	183.4	0.16
3	60A	6.391	137.9	0.05	50B	9.552	206.8	0.05	50B	27.73	183.4	0.15
4	40A	6.145	137.9	0.04	40A	9.148	206.8	0.04	40B	25.27	183.4	0.14
5	10	5.631	137.9	0.04	50A	6.169	206.8	0.03	70	24.20	183.4	0.13
6	15	5.576	137.9	0.04	70	5.568	206.8	0.03	40A	22.30	183.4	0.12
7	20	5.073	137.9	0.04	40B	5.025	206.8	0.02	60A	14.29	183.4	0.08
8	30	5.031	137.9	0.04	10	5.017	206.8	0.02	30	13.98	183.4	0.08
9	50B	4.652	137.9	0.03	15	4.913	206.8	0.02	20	13.34	183.4	0.07
10	40B	4.460	137.9	0.03	30	4.701	206.8	0.02	15	10.94	183.4	0.06
11	50A	4.254	137.9	0.03	20	4.689	206.8	0.02	10	10.48	183.4	0.06
12	90A	3.548	137.9	0.03	80	2.649	206.8	0.01	60B	10.21	183.4	0.06
13	60B	3.444	137.9	0.02	90A	0.367	206.8	0.00	90A	7.495	183.4	0.04
14	100	3.091	137.9	0.02	90B	0.046	206.8	0.00	90B	6.248	183.4	0.03
15	90B	3.078	137.9	0.02	100	0.028	206.8	0.00	100	3.105	183.4	0.02

Imagen 206. resultados tensionales del modelo 11-A15-6"

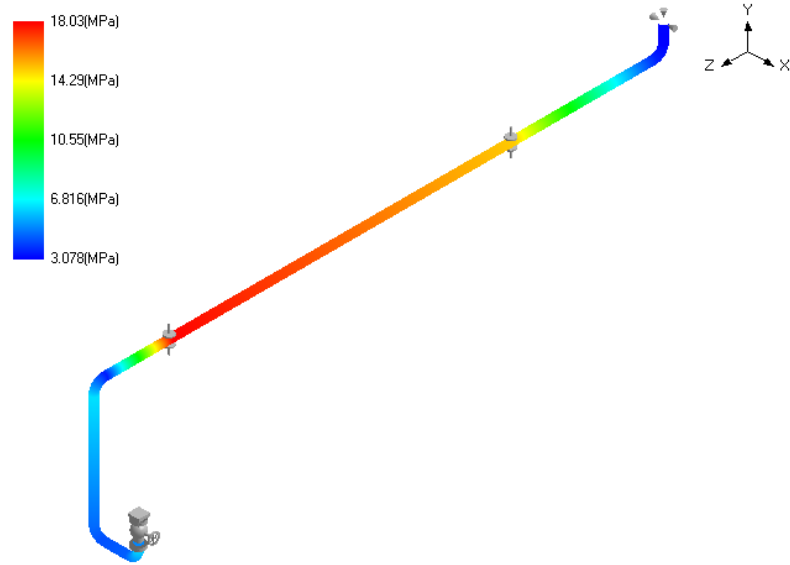


Imagen 207: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 15-A15-6"

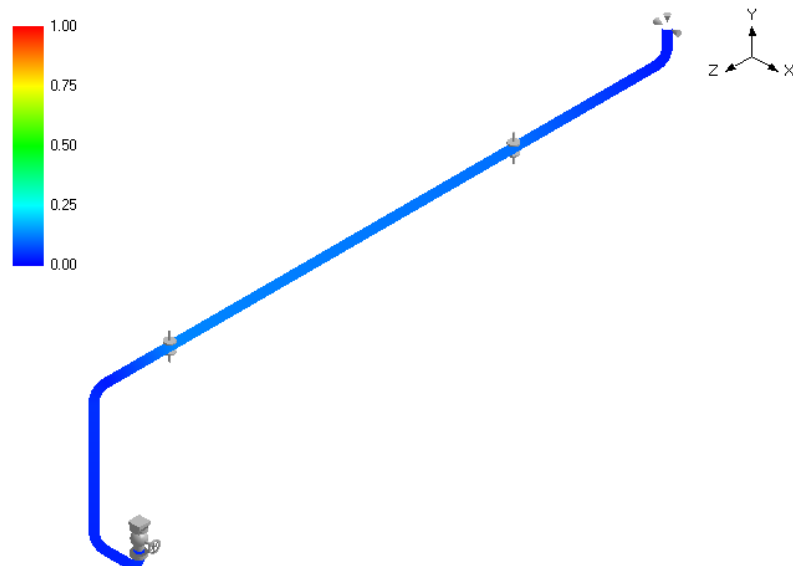


Imagen 208: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 15-A15-6"

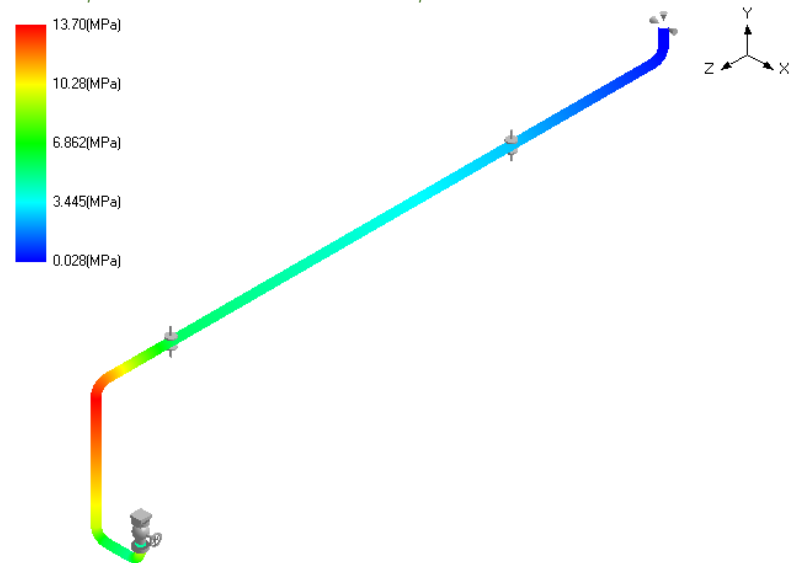


Imagen 209: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 15-A15-6"

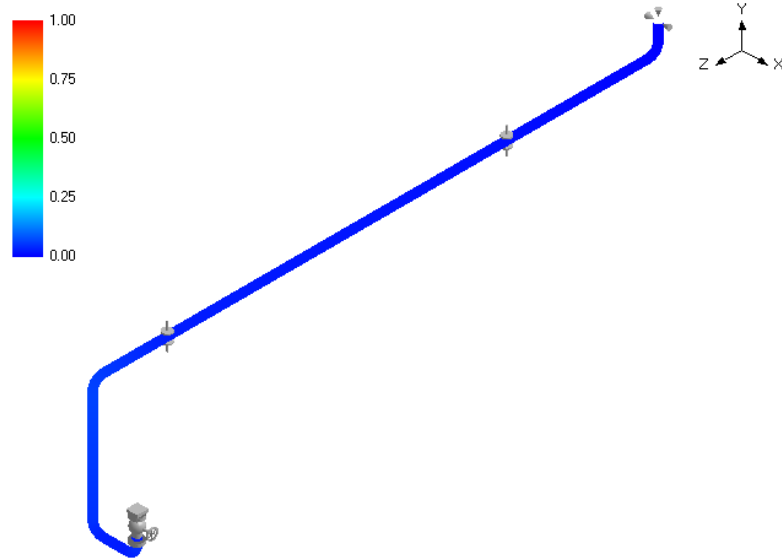


Imagen 210: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 15-A15-6"

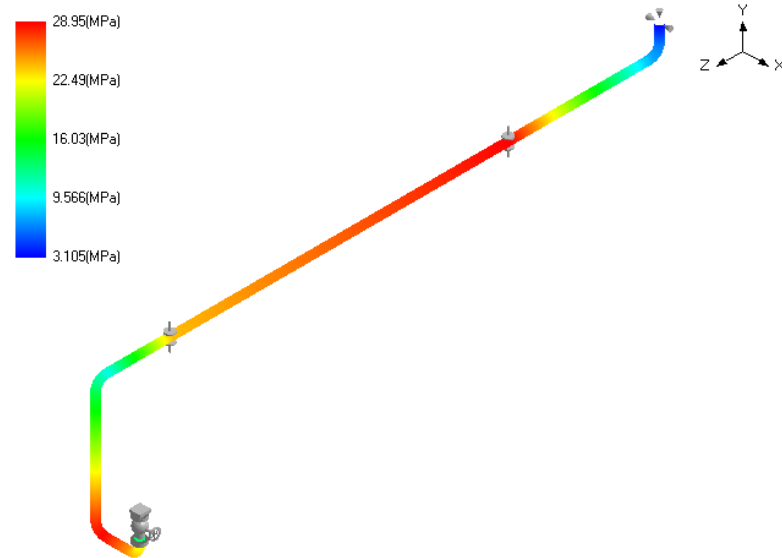


Imagen 211: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 15-A15-6"

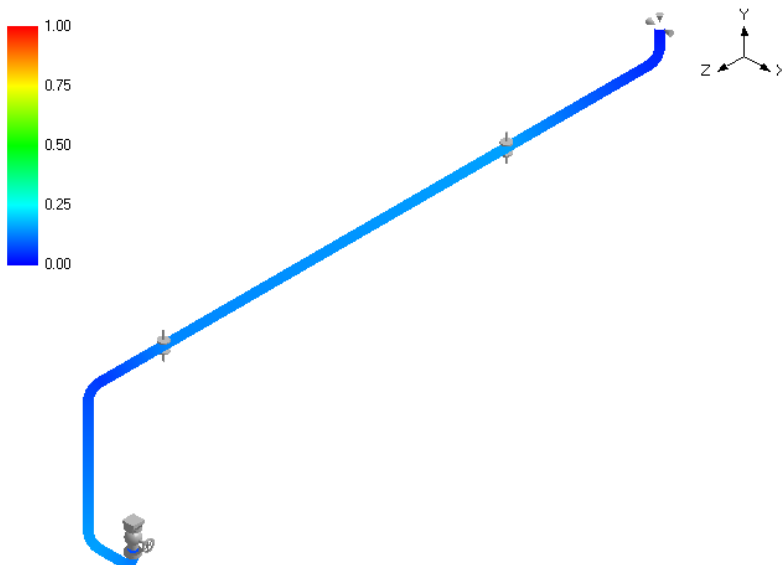


Imagen 212: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 15-A15-6"

11.2.2. Cargas en los soportes

El primer soporte que nos encontramos en la línea es su unión mediante un anclaje en el nodo 10 con el intercambiador condensador E-102. Conecta al equipo por debajo y por ello los valores serán más altos que en el modelo anterior.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	31	-1755	-70	36	-68	174	0.000	0.000	0.000
Sustained	50	-2112	-111	58	-108	277	0.000	0.000	0.000
Operating1	-138	-1122	-560	67	-386	-326	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	1187	-2672	487	-243	-137	-303	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	999	-1682	38	-234	-414	-906	0.000	0.000	0.000
Maximum	1187	-1122	487	67	-68	277	0.000	0.000	0.000
Minimum	-138	-2672	-560	-243	-414	-906	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 213: fuerzas en la unión entre la línea 15-A15-6" y el intercambiador E-102

El siguiente apoyo del modelo es sobre el soporte largo Ñ, se conectan en el nodo 70 mediante un Limit stop. Los valores que transmiten son los siguiente

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-2210	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-3522	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-4653	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-2873	195	15.434	1.000	-0.068
Operating1+Wind	-4004	195	15.434	1.000	-0.068
Maximum	-2210	195	15.434	1.000	0.000
Minimum	-4653	0	0.000	0.000	-0.068

Imagen 214: fuerzas del modelo 15-A15-6" sobre el soporte largo W

El último punto de apoyo de la línea es sobre es la viga transversal AB del rack principal. La conexión se da en el nodo 80 mediante un Limit stop. Los resultados son los siguientes:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1802	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-2873	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-2633	790	0.000	0.000	5.707
Sustained+Wind	-2969	29	11.743	0.000	-0.067
Operating1+Wind	-2729	819	11.742	0.000	5.640
Maximum	-1802	819	11.743	0.000	5.707
Minimum	-2969	0	0.000	0.000	-0.067

Imagen 215: fuerzas del modelo 15-A15-6" sobre la viga transversal AB.

11.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	0.0001	-0.0002	0.0004
3	20	0.009	0.000	0.000	0.0002	-0.0011	0.0020
4	30	0.012	0.000	0.000	0.0002	-0.0012	0.0023
5	40A	0.016	0.000	0.000	0.0002	-0.0014	0.0026
6	40B	0.038	-0.031	-0.013	0.0005	-0.0032	0.0093
7	50A	0.038	-0.121	-0.045	0.0000	-0.0036	0.0092
8	50B	0.013	-0.152	-0.062	-0.0006	-0.0041	0.0045
9	60A	-0.098	-0.151	-0.028	0.0040	-0.0040	0.0015
10	60B	-0.088	-0.114	0.000	0.0107	-0.0039	0.0013
11	70	0.000	0.000	0.000	-0.0102	-0.0028	0.0011
12	80	0.000	0.000	0.000	0.0180	0.0005	0.0004
13	90A	0.000	0.012	0.000	-0.0034	-0.0002	0.0000
14	90B	0.000	0.000	0.000	-0.0027	-0.0003	-0.0001
15	100	0.000	0.000	-0.029	-0.0027	-0.0003	-0.0001

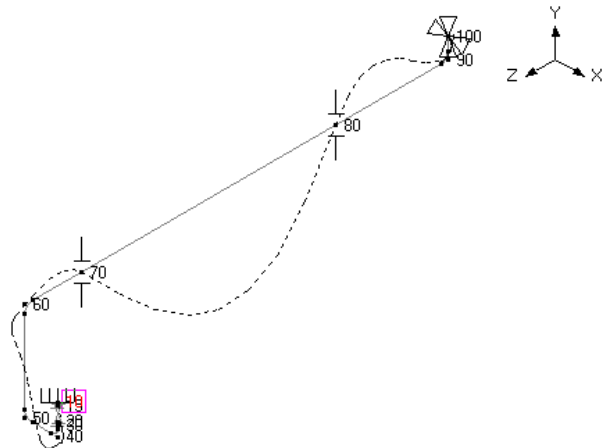


Imagen 216: desplazamientos en vacío (W) del modelo 15-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	0.0001	-0.0003	0.0006
3	20	0.014	0.000	0.000	0.0004	-0.0017	0.0032
4	30	0.019	0.000	-0.003	0.0004	-0.0020	0.0037
5	40A	0.026	0.000	-0.004	0.0003	-0.0023	0.0042
6	40B	0.061	-0.049	-0.020	0.0008	-0.0050	0.0148
7	50A	0.061	-0.192	-0.072	0.0001	-0.0057	0.0147
8	50B	0.021	-0.241	-0.099	-0.0010	-0.0066	0.0071
9	60A	-0.156	-0.240	-0.045	0.0063	-0.0063	0.0023
10	60B	-0.140	-0.181	0.000	0.0170	-0.0062	0.0021
11	70	0.000	0.000	0.000	-0.0162	-0.0044	0.0018
12	80	0.000	0.000	0.000	0.0288	0.0008	0.0006
13	90A	-0.003	0.019	0.000	-0.0055	-0.0004	0.0000
14	90B	0.000	0.000	-0.018	-0.0044	-0.0005	-0.0001
15	100	0.000	0.000	-0.047	-0.0044	-0.0005	-0.0001

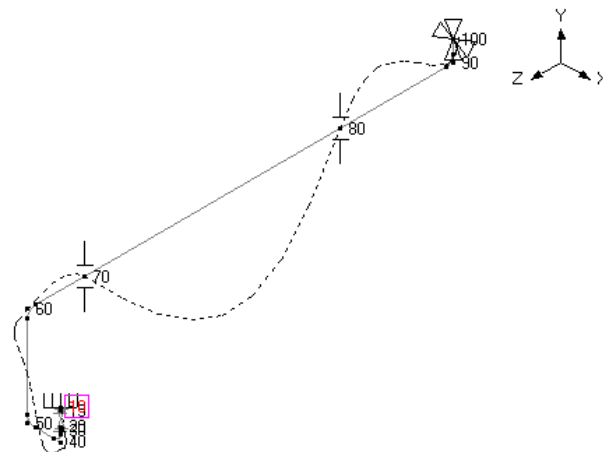


Imagen 217: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 15-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.067	0.000	-0.0000	-0.0008	-0.0013
3	20	-0.030	0.372	0.000	-0.0012	-0.0043	-0.0066
4	30	-0.041	0.439	0.004	-0.0017	-0.0051	-0.0077
5	40A	-0.054	0.506	0.007	-0.0023	-0.0058	-0.0088
6	40B	0.046	0.772	0.006	-0.0105	-0.0083	-0.0295
7	50A	0.453	1.058	-0.080	-0.0172	-0.0090	-0.0287
8	50B	0.677	0.968	-0.205	-0.0270	-0.0101	-0.0027
9	60A	0.324	-0.898	-1.282	-0.0109	0.0033	0.0141
10	60B	0.237	-0.992	-1.085	0.0349	0.0087	0.0172
11	70	0.000	0.000	0.000	0.0345	0.0084	0.0173
12	80	0.000	0.000	5.707	-0.0016	-0.0036	0.0178
13	90A	0.180	0.407	8.091	0.0122	-0.0031	0.0181
14	90B	0.121	0.296	8.313	0.0127	-0.0030	0.0181
15	100	0.000	0.000	8.397	0.0127	-0.0030	0.0181

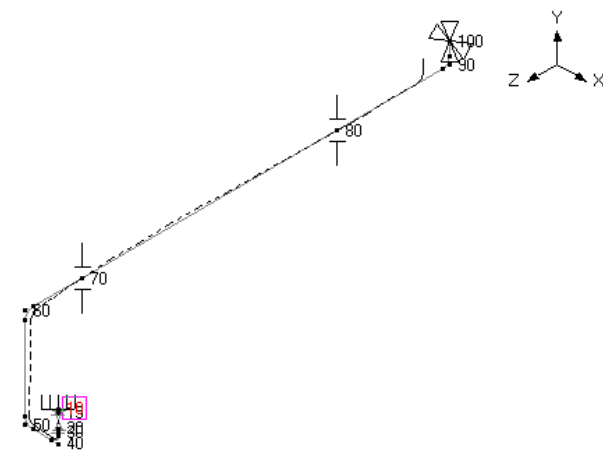


Imagen 218: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 15-A15-6"

La diferencia de deformaciones térmicas en la imagen 218 es preciosa.

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.067	0.000	0.0001	-0.0011	-0.0007
3	20	-0.016	0.371	0.000	-0.0009	-0.0060	-0.0035
4	30	-0.022	0.438	0.000	-0.0014	-0.0071	-0.0040
5	40A	-0.029	0.504	0.003	-0.0020	-0.0081	-0.0045
6	40B	0.107	0.723	-0.014	-0.0097	-0.0133	-0.0147
7	50A	0.514	0.865	-0.152	-0.0172	-0.0147	-0.0141
8	50B	0.698	0.727	-0.305	-0.0279	-0.0167	0.0044
9	60A	0.168	-1.138	-1.327	-0.0046	-0.0030	0.0164
10	60B	0.098	-1.173	-1.085	0.0519	0.0025	0.0192
11	70	0.000	0.000	0.000	0.0182	0.0040	0.0191
12	80	0.000	0.000	5.707	0.0271	-0.0028	0.0184
13	90A	0.178	0.426	8.091	0.0067	-0.0035	0.0181
14	90B	0.120	0.286	8.295	0.0083	-0.0035	0.0180
15	100	0.000	0.000	8.350	0.0083	-0.0035	0.0180

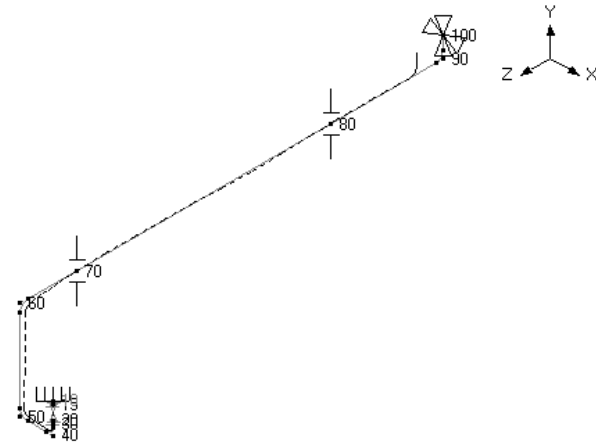


Imagen 219: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 15-A15-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	15	0.000	0.000	0.000	-0.0006	-0.0001	-0.0014
3	20	-0.035	0.000	0.013	-0.0019	-0.0004	-0.0102
4	30	-0.053	0.000	0.016	-0.0019	-0.0005	-0.0127
5	40A	-0.074	0.000	0.019	-0.0018	-0.0006	-0.0155
6	40B	-0.251	0.271	0.006	0.0037	-0.0057	-0.1015
7	50A	-0.250	1.341	-0.060	0.0069	-0.0092	-0.1255
8	50B	0.539	2.005	-0.100	0.0053	-0.0217	-0.2373
9	60A	12.367	2.004	0.000	-0.0069	-0.0593	-0.2837
10	60B	13.733	1.905	-0.068	-0.0336	-0.0666	-0.2761
11	70	15.434	1.000	-0.068	-0.0327	-0.0626	-0.2539
12	80	11.743	0.000	-0.067	0.0017	0.1587	-0.1373
13	90A	0.158	0.000	-0.067	-0.0005	0.2370	-0.0886
14	90B	-0.485	0.000	-0.066	0.0004	0.2462	-0.0742
15	100	0.000	0.000	-0.063	0.0005	0.2462	-0.0727

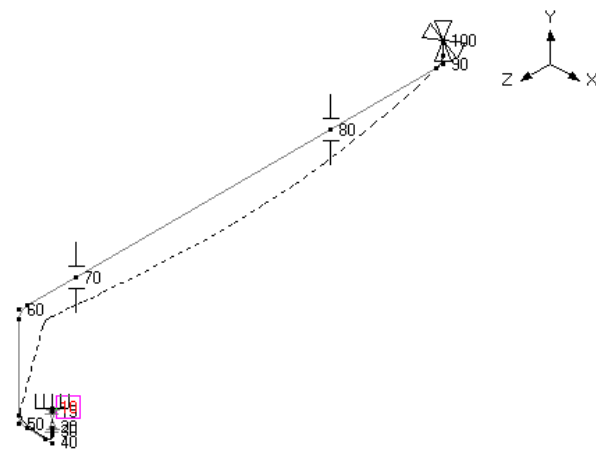


Imagen 220: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 15-A15-6"

11.2.4. Frecuencias

Este modelo a diferencia del anterior no es tan estable, rozando la recomendación de 2Hz. Es una de las mayores diferencias entre las dos líneas junto con las deformaciones térmicas

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.005	0.4988	1.4117	0.0947	-0.9833	0.3811	0.0017	0.1849
2	2.666	0.3751	-0.8926	-0.0040	-1.6723	0.1523	0.0000	0.5347
3	3.325	0.3007	0.6222	-0.0677	-0.1701	0.0740	0.0009	0.0055
4	11.754	0.0851	-0.7093	-0.1199	-0.0519	0.0962	0.0028	0.0005
5	14.563	0.0687	-0.1010	0.3884	0.2368	0.0020	0.0288	0.0107
6	19.527	0.0512	-0.3118	0.9521	0.0551	0.0186	0.1733	0.0006
7	23.775	0.0421	-0.0061	0.1134	-0.7031	0.0000	0.0025	0.0945
8	53.133	0.0188	0.9309	0.1477	0.0018	0.1657	0.0042	0.0000
9					Total	0.8899	0.2141	0.8315

Imagen 221: valores de los modos de vibración del modelo 15-A15-6"

12. Simulación línea 7-C30-X"

La línea 7-C30-X" está compuesta por dos ramales. Por un lado, está la línea de 4 pulgadas que conecta la torre de fraccionamiento con el rack apoyándose en la viga transversal CD y en un trunnio, y por otro lado está la sección que transporta el producto desde la descarga de las bombas hasta el rack, conectándose aquí con la sección primera.

Estas líneas se estudiarán independientemente, ya que por su complejidad no entran en un solo modelo.

12.1. Simulación línea 7-C30-4"

La línea 7-C30-4" comienza en la parte alta de la torre de refrigeración, para bajar hasta el suelo, donde tiene instalada una estación de control y un trunnio para soportar el peso. De ahí se dirige al rack apoyándose en la viga transversal CD para después conectarse con el otro ramal de la línea.

12.1.1. Modelado de la línea en CaePipe

Esta línea tiene un trunnio, y como tal, habrá que declarar los valores de la tubería y del perfil. Los valores de la tubería se pueden encontrar en la "Memoria descriptiva" apartado "5.4.7. Línea 7" y los valores del perfil de catálogo o del programa.

- Material tubería → A53 Grado B
- Diámetro → 4 pulgadas
- Clase → 300#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 21 °C
- Temperatura de diseño → 45°C
- Presión de operación → (desconocida) 10 bar
- Presión de diseño → 15 bar
- Material perfil → S275
- sección perfil → W 4x13

Con todos los valores necesarios para configurar las condiciones del modelo, procedemos a introducirlas en el programa.

Imagen 222: sección de la línea 7-C30-4"

Imagen 223: condiciones de trabajo de la línea 7-C30-4"

Una vez introducidas las condiciones de la tubería, se introducen los del perfil que formara el trunnio.



Beam material # 1

Material name: VIGA

Description:

E: 210 (MPa)

Nu: 0.3

Density: 750 (kg/m3)

Alpha:

OK Cancel

Imagen 224: valores físicos del material

Beam Section # 1

Section name: HE1

Description: W 4x13

Axial area: 2470.96 (mm2)

Major moment of inertia: 4.7034E+6 (mm4)

Minor moment of inertia: 1.6067E+6 (mm4)

Torsional constant: 62434.7 (mm4)

Major shear area:

Minor shear area:

Depth: 4.16 (inch)

Width: 4.06 (inch)

OK Cancel Library

Imagen 225: valores del perfil

Beam load # 1

Load name: LV

Temperature 1: 21.11 (C)

Temperature 2:

Temperature 3:

Temperature 4:

Temperature 5:

Temperature 6:

Temperature 7:

Temperature 8:

Temperature 9:

Temperature 10:

Add. weight:

Wind load

OK Cancel

Imagen 226: condiciones del perfil

Con todos los parámetros definidos, es el momento de programar el modelo:

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 7-C30-4								
2	10	From							Anchor
3	20		-89			53	4	L1	Flange
4	30	Bend	-200			53	4	L1	
5	40			-9512		53	4	L1	Flange
6	50	Valve		-355.6		53	4	L1	Flange
7	60	Bend		-503		53	4	L1	
8	70				-240	53	4	L1	Flange
9	80	Valve			-355.6	53	4	L1	Flange
10	90	Bend			-240	53	4	L1	
11	100			503		53	4	L1	Flange
12	110	Valve		355.6		53	4	L1	Flange
13	120	Bend		1705		53	4	L1	
14	125				-2824	53	4	L1	Limit stop
15	130	Bend			-414	53	4	L1	
16	140			600		53	4	L1	Y restraint
17	90B	Location							XYZ restraint
18	90B	From							
19	300	Beam		-600		VIGA	HE1	LV	Anchor

Imagen 227: programación del modelo 7-C30-4"

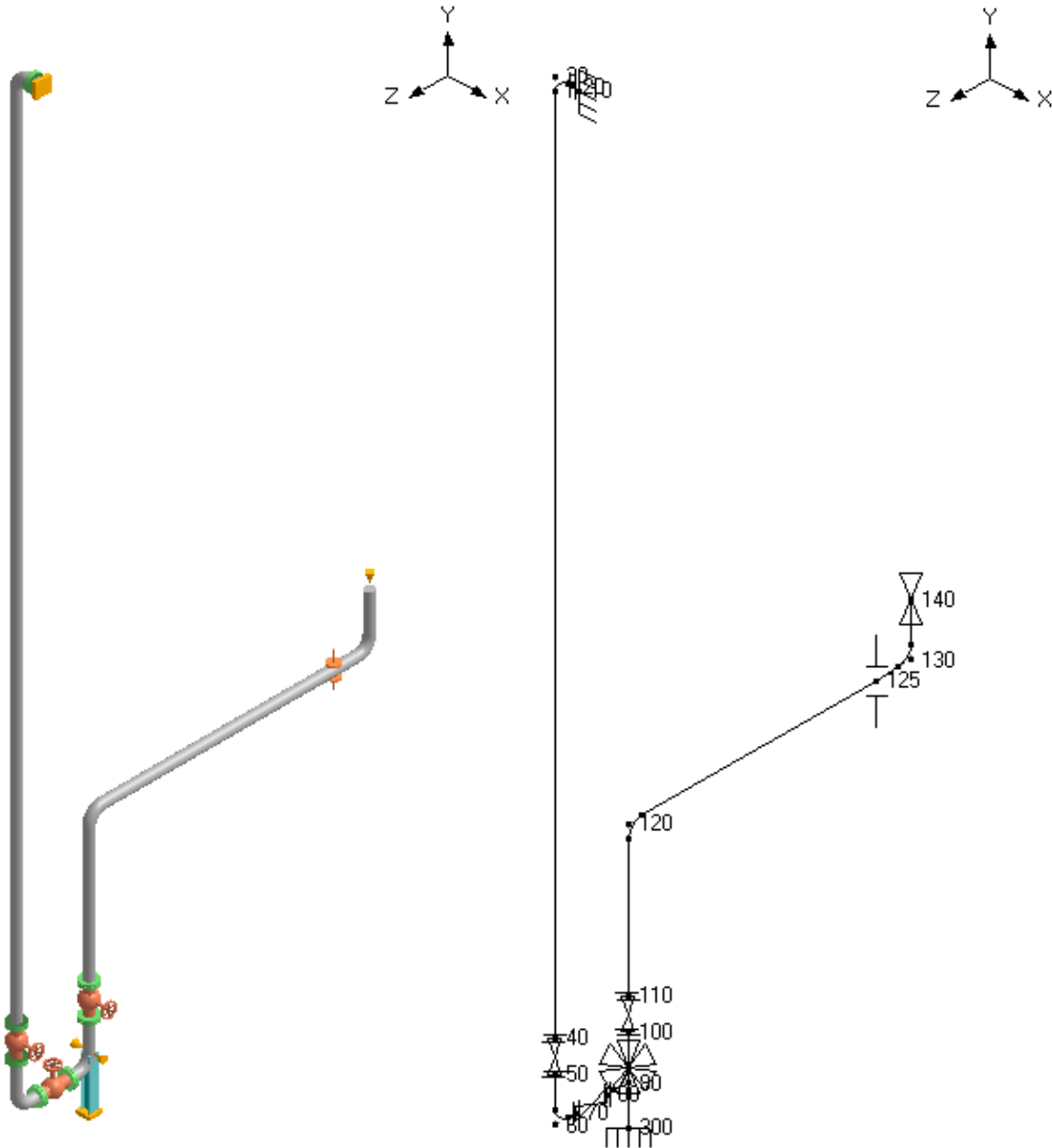


Imagen 228: representación en 3D del modelo de la línea 7-C30-4"

Imagen229 : representación en alambre del modelo de la línea 7-C30-4"

Las bridas instaladas en los nodos 20, 40, 50, 70, 80, 100 y 110 son bridas WeldNeck de 4" clase 300# RF y SCH estándar

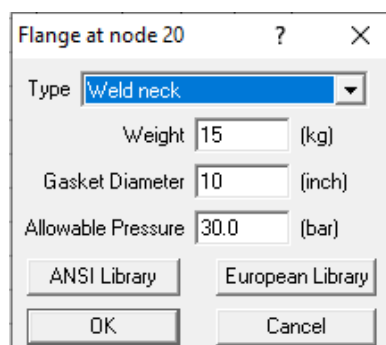
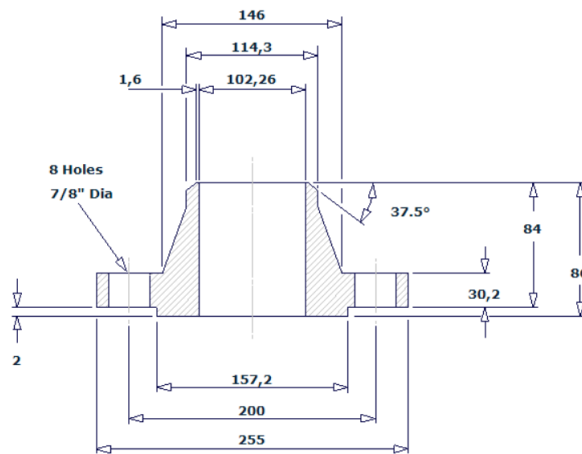


Imagen 230: datos de la brida introducidos en CaePipe

4" NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 11,65 kg
S/Bolts and Nuts = 3,16 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 115 Long

ASME B16.5-2017

Imagen 231: valores del catálogo PipeDataPro de brida WeldNeck de 4" clase 300# RF SCH STD

Las válvulas instaladas en los nodos 50, 80 y 110, son válvula de globo de 4" NPS RF y clase 150#

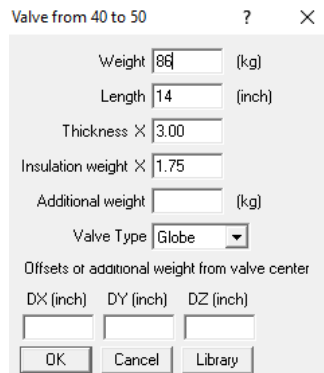
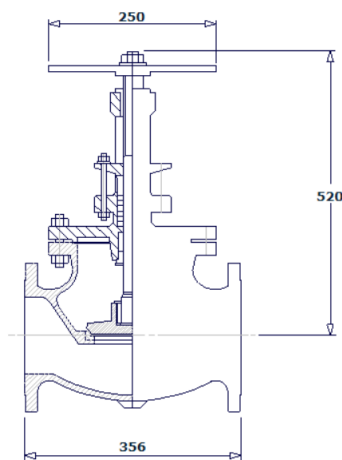


Imagen 232: datos de la válvula introducidas en CaePipe

4" NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 86kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

Imagen 233: valores del PipeDataPro para una válvula de globo de 4" clase 300# y caras RF

12.1.2. Resultados del modelo 7-C30-4"

12.1.2.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL/SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE/SA	Node	SL+S0 (MPa)	SH0 (MPa)	SL+S0/SH0
1	30A	64.06	110.3	0.58	90B	0.162	165.5	0.00	90B	116.0	146.7	0.79
2	10	53.30	110.3	0.48	60A	0.122	165.5	0.00	30A	109.3	146.7	0.74
3	20	39.04	110.3	0.35	90A	0.107	165.5	0.00	60A	100.2	146.7	0.68
4	30B	31.24	110.3	0.28	60B	0.071	165.5	0.00	90A	84.26	146.7	0.57
5	60B	24.64	110.3	0.22	30A	0.041	165.5	0.00	60B	74.37	146.7	0.51
6	90B	23.36	110.3	0.21	100	0.037	165.5	0.00	10	72.80	146.7	0.50
7	70	19.73	110.3	0.18	30B	0.035	165.5	0.00	120B	72.53	146.7	0.49
8	90A	18.92	110.3	0.17	50	0.033	165.5	0.00	40	64.62	146.7	0.44
9	125	18.68	110.3	0.17	40	0.032	165.5	0.00	100	60.43	146.7	0.41
10	130A	18.36	110.3	0.17	110	0.031	165.5	0.00	80	59.03	146.7	0.40
11	80	18.35	110.3	0.17	10	0.025	165.5	0.00	30B	58.42	146.7	0.40
12	40	16.14	110.3	0.15	80	0.021	165.5	0.00	20	58.06	146.7	0.40
13	120A	16.11	110.3	0.15	20	0.018	165.5	0.00	50	57.81	146.7	0.39
14	110	15.51	110.3	0.14	120A	0.015	165.5	0.00	70	57.50	146.7	0.39
15	60A	14.69	110.3	0.13	70	0.011	165.5	0.00	110	55.45	146.7	0.38
16	120B	14.47	110.3	0.13	130A	0.009	165.5	0.00	120A	47.58	146.7	0.32
17	50	14.42	110.3	0.13	120B	0.007	165.5	0.00	125	20.07	146.7	0.14
18	100	14.28	110.3	0.13	125	0.007	165.5	0.00	130A	19.76	146.7	0.13
19	140	13.35	110.3	0.12	140	0.000	165.5	0.00	130B	14.71	146.7	0.10
20	130B	13.27	110.3	0.12	130B	0.000	165.5	0.00	140	13.42	146.7	0.09

Imagen 234: resultados tensionales del modelo 7-C30-4"

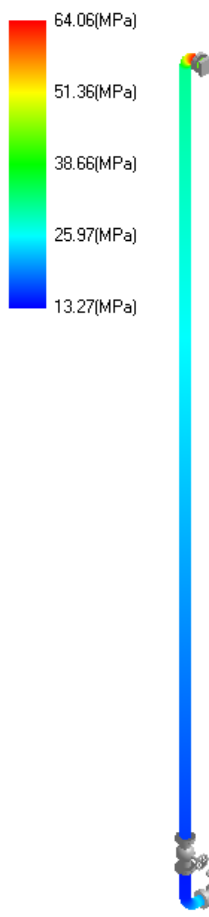


Imagen 235: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 7-C30-4"



Imagen 236: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 7-C30-4"

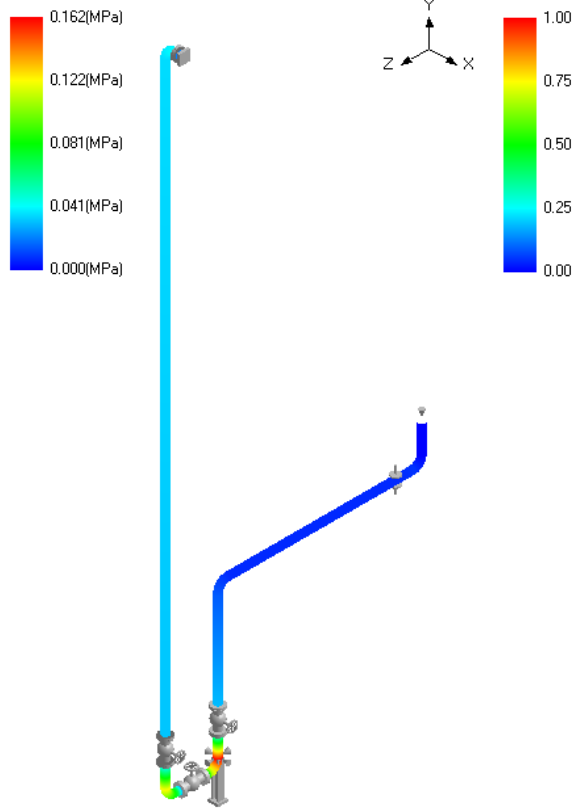


Imagen 237: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 7-C30-4"

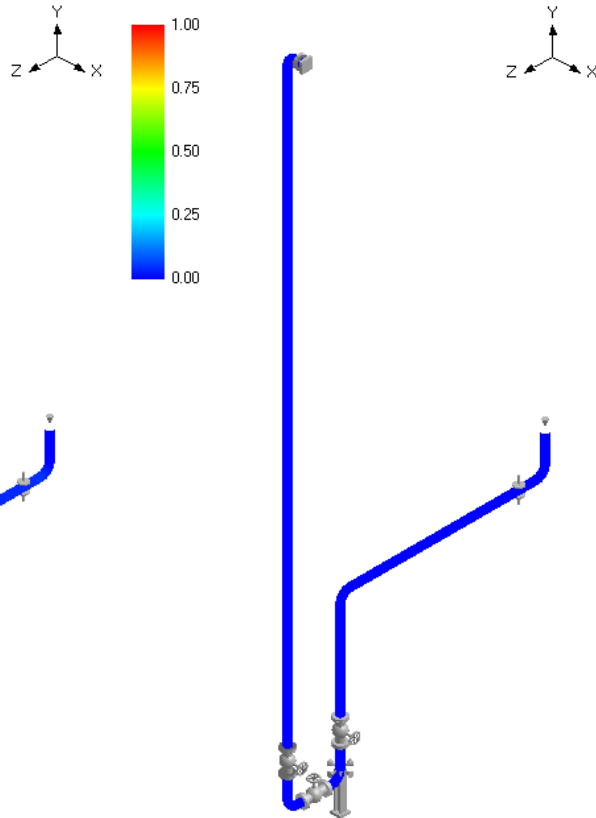


Imagen 238: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 7-C30-4"

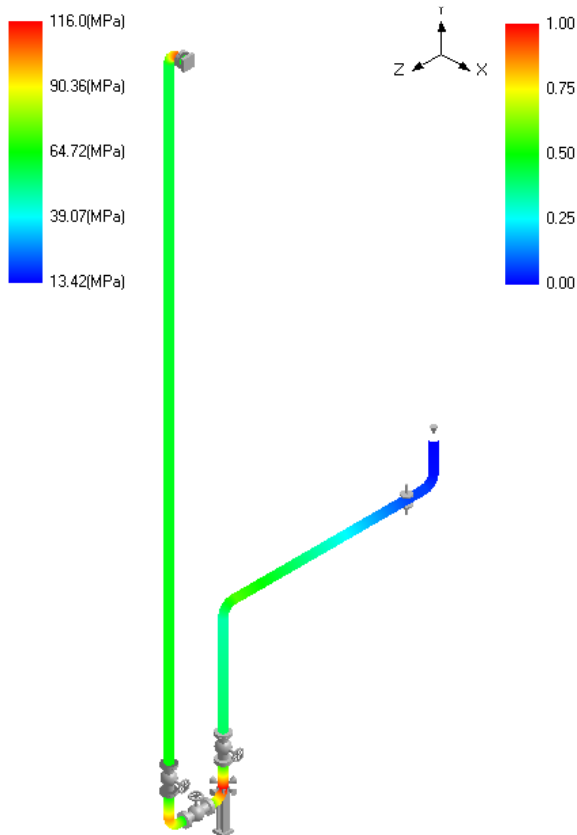


Imagen 239: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 7-C30-4"

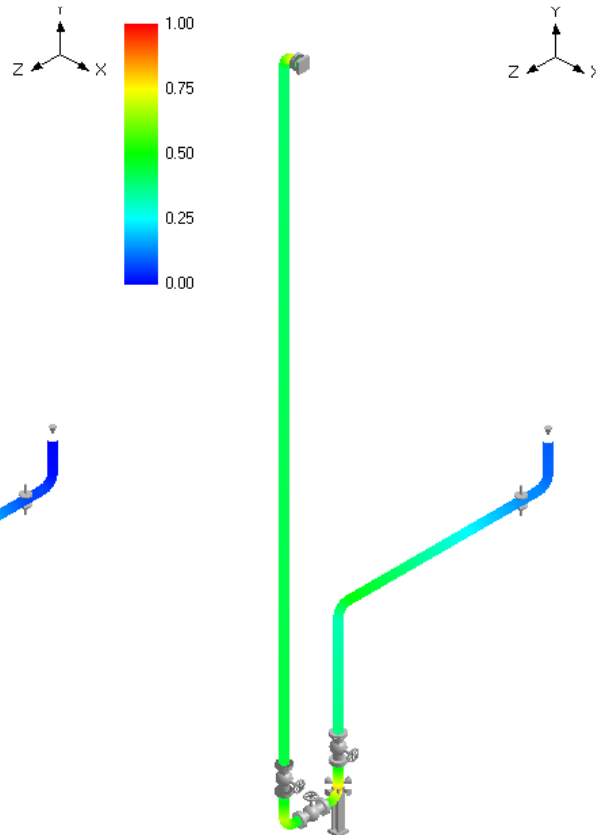


Imagen 239: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 7-C30-4"

12.1.2.2. Cargas en los soportes

En este modelo se soporta en tres puntos, el anclaje de la línea con la torre, el trunnio y el apoyo sobre la viga transversal CD.

El primero que encontramos es la unión de la línea con la torre de fraccionamiento. Las fuerzas resultantes de esta unión se muestran a continuación.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-8	-2387	-1	3	5	583	0.000	0.000	0.000
Sustained	-10	-3287	0	1	8	813	0.000	0.000	0.000
Operating1	-10	-3289	0	2	8	814	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	479	-3625	421	-152	-127	1141	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	479	-3627	421	-152	-127	1142	0.000	0.000	0.000
Maximum	479	-2387	421	3	8	1142	0.000	0.000	0.000
Minimum	-10	-3627	-1	-152	-127	583	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 240: fuerzas en la unión entre la línea 7-C30-4" y la torre de fraccionamiento.

El siguiente punto que encontramos es el trunnio colocado en el nodo 90B. las fuerzas a las que se somete el trunnion son:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Displacements (global)		
				X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	15	-1972	-20	0.000	0.000	0.000
Sustained	20	-2331	-18	0.000	0.000	0.000
Operating1	20	-2329	-18	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	1349	-2036	659	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	1349	-2034	659	0.000	0.000	0.000
Maximum	1349	-1972	659	0.000	0.000	0.000
Minimum	15	-2331	-20	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 241: fuerzas sometidas al trunnion de la línea 7-C30-4"

Y el último apoyo de la línea se encuentra en la viga transversal CD, en el nodo 125, aunque por la configuración de la línea apenas recarga su peso aquí.

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-211	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-512	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-511	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-512	0	166.656	0.103	5.707
Operating1+Wind	-511	0	166.656	0.103	5.707
Maximum	-211	0	166.656	0.103	5.707
Minimum	-512	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 242: fuerzas que transmite el modelo 7-C30-4" a la viga transversal CD

12.1.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.016	0.000	0.0001	0.0001	0.0102
3	30A	0.000	-0.030	0.000	0.0001	0.0002	0.0139
4	30B	0.192	-0.201	0.005	0.0000	0.0023	0.0594
5	40	0.650	-0.322	-0.084	-0.0013	0.0190	-0.0271
6	50	0.482	-0.323	-0.076	-0.0014	0.0192	-0.0272
7	60A	0.315	-0.324	-0.066	-0.0018	0.0198	-0.0271
8	60B	0.190	-0.312	-0.065	0.0210	0.0215	-0.0271
9	70	0.157	-0.280	-0.065	0.0230	0.0216	-0.0270
10	80	0.022	-0.126	-0.065	0.0264	0.0217	-0.0269
11	90A	-0.011	-0.082	-0.065	0.0279	0.0217	-0.0268
12	90B	0.000	0.000	0.000	0.0092	0.0225	-0.0254
13	100	0.155	-0.003	0.042	0.0048	0.0225	-0.0254
14	110	0.313	-0.004	0.069	0.0037	0.0224	-0.0254
15	120A	1.003	-0.005	0.019	-0.0052	0.0221	-0.0255
16	120B	1.012	-0.025	0.000	-0.0069	0.0218	-0.0257
17	125	0.000	0.000	0.000	0.0027	0.0216	-0.0257
18	130A	-0.099	0.007	0.000	0.0009	0.0216	-0.0257
19	130B	-0.088	0.000	-0.009	-0.0040	0.0216	-0.0257
20	140	0.112	0.000	-0.041	-0.0040	0.0216	-0.0257
21	300	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

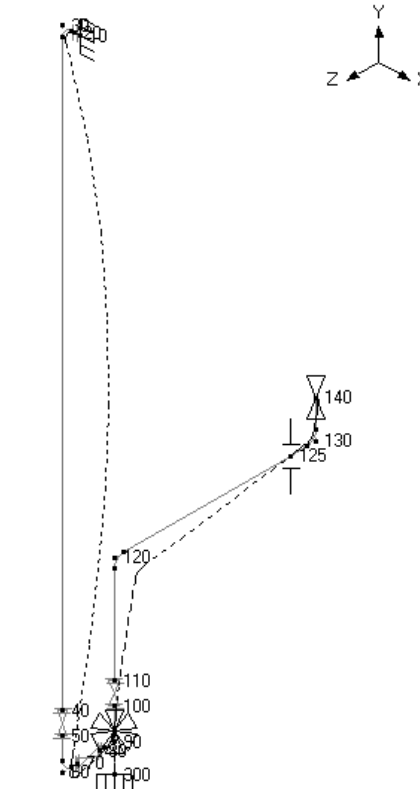


Imagen 243: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.022	0.000	0.0000	0.0002	0.0143
3	30A	0.000	-0.041	0.000	0.0001	0.0003	0.0195
4	30B	0.255	-0.269	0.008	-0.0012	0.0035	0.0805
5	40	0.883	-0.420	-0.044	0.0016	0.0261	-0.0367
6	50	0.655	-0.421	-0.054	0.0016	0.0263	-0.0368
7	60A	0.430	-0.422	-0.064	0.0017	0.0272	-0.0367
8	60B	0.259	-0.393	-0.077	0.0279	0.0293	-0.0366
9	70	0.214	-0.351	-0.077	0.0301	0.0294	-0.0365
10	80	0.031	-0.152	-0.077	0.0337	0.0295	-0.0363
11	90A	-0.014	-0.097	-0.077	0.0351	0.0295	-0.0362
12	90B	0.000	0.000	0.000	0.0121	0.0306	-0.0344
13	100	0.211	-0.004	0.057	0.0069	0.0305	-0.0345
14	110	0.425	-0.004	0.096	0.0055	0.0305	-0.0345
15	120A	1.361	-0.007	0.035	-0.0079	0.0300	-0.0346
16	120B	1.374	-0.049	0.000	-0.0162	0.0296	-0.0348
17	125	0.000	0.000	0.000	0.0063	0.0294	-0.0348
18	130A	-0.134	0.015	0.000	0.0019	0.0294	-0.0348
19	130B	-0.120	0.000	-0.021	-0.0089	0.0294	-0.0348
20	140	0.152	0.000	-0.090	-0.0089	0.0294	-0.0348
21	300	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

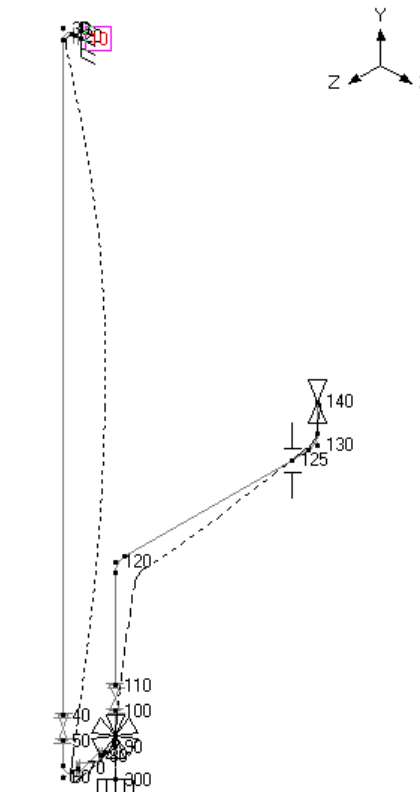


Imagen 244: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
3	30A	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
4	30B	0.000	0.000	0.000	0.0001	-0.0001	0.0000
5	40	0.000	0.011	-0.006	-0.0003	-0.0000	-0.0000
6	50	0.000	0.012	-0.004	-0.0004	-0.0000	-0.0000
7	60A	0.000	0.012	0.000	-0.0004	-0.0000	-0.0000
8	60B	0.000	0.010	0.000	-0.0009	0.0000	-0.0000
9	70	0.000	0.009	0.000	-0.0009	0.0000	-0.0000
10	80	0.000	0.003	0.000	-0.0009	0.0000	-0.0000
11	90A	0.000	0.000	0.000	-0.0009	0.0000	-0.0000
12	90B	0.000	0.000	0.000	-0.0002	0.0000	-0.0000
13	100	0.000	0.000	0.000	-0.0002	0.0000	-0.0000
14	110	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	-0.0000
15	120A	0.000	-0.003	-0.003	0.0000	0.0000	-0.0000
16	120B	0.000	-0.003	-0.003	0.0000	0.0000	-0.0000
17	125	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0000	-0.0000
18	130A	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0000	-0.0000
19	130B	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0000	-0.0000
20	140	0.000	0.000	0.000	0.0001	0.0000	-0.0000
21	300	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

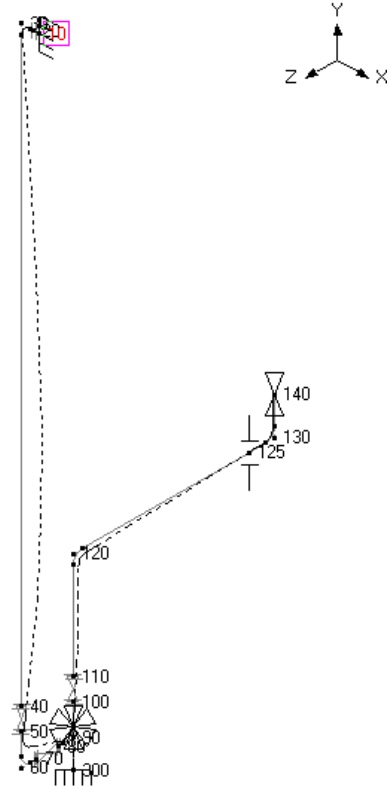


Imagen 245: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.022	0.000	0.0000	0.0002	0.0143
3	30A	0.000	-0.041	0.000	0.0001	0.0003	0.0195
4	30B	0.256	-0.269	0.008	-0.0011	0.0034	0.0805
5	40	0.883	-0.409	-0.050	0.0013	0.0260	-0.0367
6	50	0.655	-0.409	-0.057	0.0013	0.0263	-0.0368
7	60A	0.430	-0.410	-0.065	0.0013	0.0271	-0.0367
8	60B	0.259	-0.383	-0.076	0.0270	0.0293	-0.0366
9	70	0.214	-0.342	-0.076	0.0292	0.0294	-0.0365
10	80	0.031	-0.149	-0.076	0.0328	0.0295	-0.0363
11	90A	-0.014	-0.095	-0.076	0.0342	0.0295	-0.0362
12	90B	0.000	0.000	0.000	0.0118	0.0306	-0.0344
13	100	0.211	-0.004	0.056	0.0067	0.0305	-0.0345
14	110	0.425	-0.005	0.093	0.0053	0.0305	-0.0345
15	120A	1.362	-0.010	0.032	-0.0079	0.0300	-0.0346
16	120B	1.375	-0.052	-0.003	-0.0162	0.0297	-0.0348
17	125	0.000	0.000	0.000	0.0064	0.0294	-0.0348
18	130A	-0.134	0.015	0.000	0.0020	0.0294	-0.0348
19	130B	-0.120	0.000	-0.020	-0.0088	0.0294	-0.0348
20	140	0.152	0.000	-0.089	-0.0088	0.0294	-0.0348
21	300	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

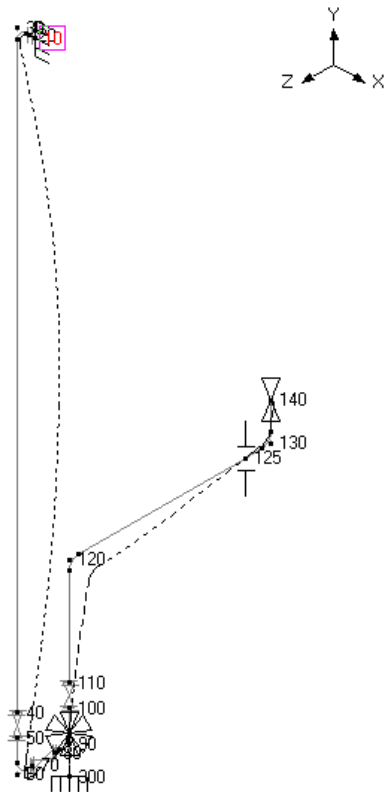


Imagen 246: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-4"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.006	0.000	-0.0043	-0.0033	0.0067
3	30A	0.000	-0.014	-0.004	-0.0066	-0.0054	0.0101
4	30B	0.381	-0.254	-0.133	-0.0050	-0.0745	0.2015
5	40	-4.702	-0.274	1.142	0.0914	-0.8157	-0.6749
6	50	-8.964	-0.275	0.563	0.0943	-0.8241	-0.6976
7	60A	-13.445	-0.276	-0.021	0.0933	-0.8519	-0.7644
8	60B	-13.805	-0.170	-0.192	0.0086	-0.8052	-1.0325
9	70	-12.570	-0.160	-0.192	0.0070	-0.8119	-1.0515
10	80	-7.503	-0.119	-0.193	0.0069	-0.8218	-1.0745
11	90A	-6.240	-0.109	-0.193	0.0083	-0.8316	-1.0935
12	90B	0.000	0.000	0.000	0.1243	-1.2452	-1.5599
13	100	9.777	0.000	0.808	0.1378	-1.3043	-1.6315
14	110	19.961	0.000	1.672	0.1401	-1.3221	-1.6492
15	120A	66.842	0.000	5.464	0.1284	-1.5836	-1.7749
16	120B	76.236	0.166	5.706	0.0249	-1.8304	-1.9230
17	125	166.656	0.103	5.707	-0.0151	-1.9967	-1.9351
18	130A	175.775	0.033	5.707	-0.0150	-1.9976	-1.9363
19	130B	186.253	0.000	5.680	-0.0073	-2.0023	-1.9419
20	140	201.425	0.000	5.625	-0.0069	-2.0023	-1.9423
21	300	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

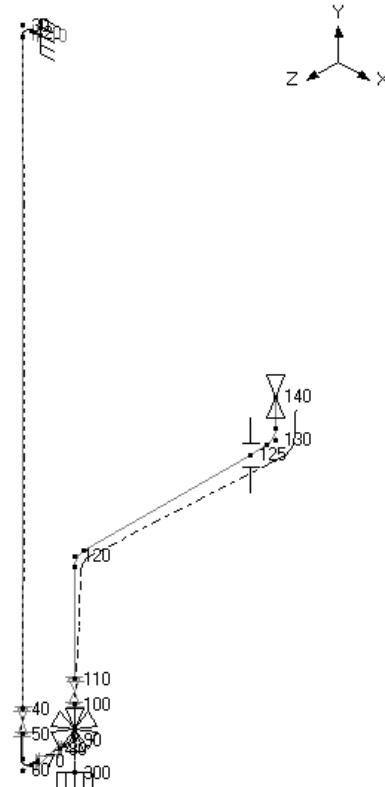


Imagen 247: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-4”

12.1.2.4. Frecuencias

En este caso, la frecuencia mínima está por debajo de los 2Hz recomendables. Es razonable que esta sea la línea las delicada por su pequeño grosor y su altura. Por lo que se permitirá y se mantendrá para una futura revisión.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.807	0.5534	-1.3773	0.0147	-0.0227	0.5446	0.0001	0.0001
2	2.758	0.3626	0.0155	0.0231	-0.7003	0.0001	0.0002	0.1408
3	3.659	0.2733	-0.2751	0.0022	-0.0202	0.0217	0.0000	0.0001
4	6.830	0.1464	0.0137	-0.0072	-1.1062	0.0001	0.0000	0.3513
5	9.918	0.1008	0.4814	-0.0329	-0.0077	0.0665	0.0003	0.0000
6	12.697	0.0788	-0.4273	-0.1264	-0.0168	0.0524	0.0046	0.0001
7	23.030	0.0434	-0.0368	0.4953	-0.3897	0.0004	0.0704	0.0436
8	24.333	0.0411	0.4824	0.1524	0.0570	0.0668	0.0067	0.0009
9	25.832	0.0387	0.2688	-1.2404	-0.2415	0.0207	0.4417	0.0167
10	45.294	0.0221	-0.0305	-0.0059	0.5603	0.0003	0.0000	0.0901
11					Total	0.7735	0.5239	0.6438

Imagen 248: valores e los modos de vibración del modelo 7-C30-4”

12.2. Simulación línea 7-C30-6”

Esta línea se sustenta gracias al apoyo y conexión con las bombas P-101 A & B en la tobera de descarga. Para no cargar todo el peso sobre las bombas, también se sostiene gracias a un patín en la viga transversal AB del Rack principal.

Este ramal se simula para obtener los resultados de las conexiones a las bombas para luego poderlas simular y comprobar si cumplen con la normativa API-610. Su comportamiento sobre la viga transversal AB también es importante.

12.2.1. Modelado de la línea en CaePipe

Del ramal de esta línea apenas tenemos datos, y los que tenemos se encuentran en la “Memoria descriptiva” apartado “5.4.7. Línea 7”.

- Material tubería → A53 Grado B
- Diámetro → 6 pulgadas
- Clase → 300#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 10 °C
- Temperatura de diseño → 40 °C
- Presión de operación → (desconocida) 15 bar
- Presión de diseño → 20 bar

Con los datos de partida vamos a crear las condiciones en el programa CaePipe. Para ello declaramos el material y el viento como en el resto de los modelos, y ahora declaramos la sección y las cargas como se muestra a continuación:

Section name	B	ANSI	DIN	JIS	ISO
Nominal diameter	6"	Schedule	STD		
Outside diameter	6.625 (inch)	Thickness	0.28 (inch)		
Corrosion allowance	(inch)	Mill tolerance	(%)		
Insulation : Density	(kg/m3)	Thickness	(inch)		
Lining : Density	(kg/m3)	Thickness	(inch)		
OK	Cancel	Insulation	Soil		

Imagen 249: sección del modelo 7-C30-6”

Load name	L1	Wind load	<input checked="" type="checkbox"/>
Operating			
Temperature 1	15 (C)	Pressure 1	15.0 (bar)
Temperature 2	(C)	Pressure 2	(bar)
Temperature 3	(C)	Pressure 3	(bar)
Temperature 4	(C)	Pressure 4	(bar)
Temperature 5	(C)	Pressure 5	(bar)
Temperature 6	(C)	Pressure 6	(bar)
Temperature 7	(C)	Pressure 7	(bar)
Temperature 8	(C)	Pressure 8	(bar)
Temperature 9	(C)	Pressure 9	(bar)
Temperature 10	(C)	Pressure 10	(bar)
Design			
Temperature	40 (C)	Pressure	20.0 (bar)
Spec. gravity	0.9	Add. weight	(kg/m)
OK	Cancel	Specific gravity is with respect to water	

Imagen 250: condiciones de trabajo de la línea 7-C30-6”

Una vez declarados todos los parámetros del modelo, le damos forma programando la línea de acuerdo a la simulación y planos creados de la unidad.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 7-C30-6"								
2	10	From							Anchor
3	20			89		A53	6	L1	Flange
4	30			374.7		A53	6	L1	Flange
5	40	Valve		406.4		A53	6	L1	Flange
6	50	Bend		647.6		A53	6	L1	
7	60		-1371.6			A53	6	L1	Welding tee
8	70	Bend		723.3		A53	6	L1	
9	75				-685.8	A53	6	L1	Limit stop
10	80	Bend			-414.4	A53	6	L1	
11	90			610		A53	6	L1	Y restraint
12	60	From							
13	100	Bend	-1371.6			A53	6	L1	
14	110			-647.6		A53	6	L1	Flange
15	120	Valve		-406.4		A53	6	L1	Flange
16	130			-374.7		A53	6	L1	Flange
17	140			-89		A53	6	L1	Anchor

Imagen 251: programación del modelo 7-C30-6"

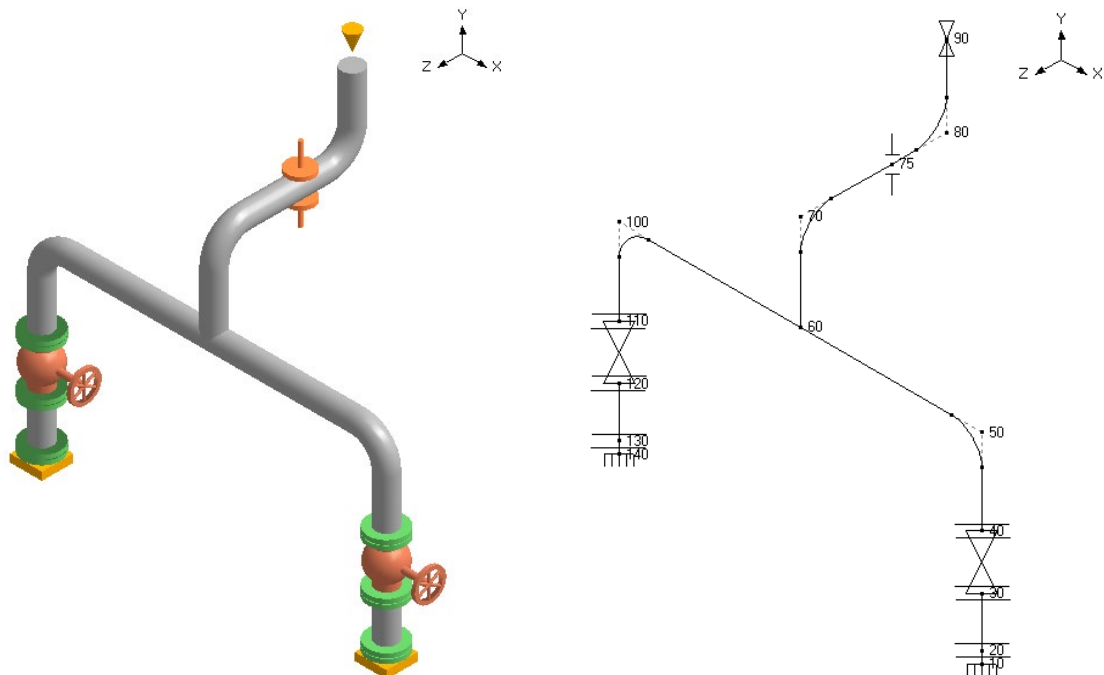


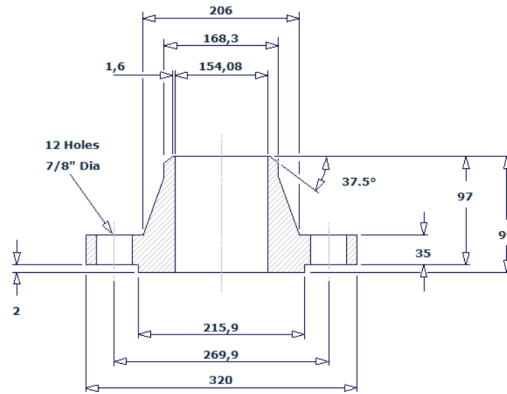
Imagen 252: representación en 3D del modelo 7-C30-6"

Imagen 252: Representación del modelo a una línea con posición de nodos

Las Flanges utilizadas en los nodos 20, 30, 40, 110, 120 y 130 son bridas WeldNeck de 6", clase 300# RF y SCH estándar. Sus propiedades físicas se obtienen de PipeDataPro y se muestran a continuación.

6"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 20,13 kg
S/Bolts and Nuts = 4,86 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 120 Long

ASME B16.5-2017

Imagen 253: Valores de catálogo de una brida WeldNeck de 6", clase 300# RF y SCH estándar

Se puede apreciar la diferencia entre clases si se compara la imagen anterior con la imagen 139 de la línea 10-A15-6". esta brida se introduce en el programa como se muestra a continuación:

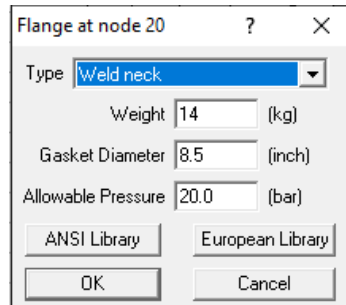
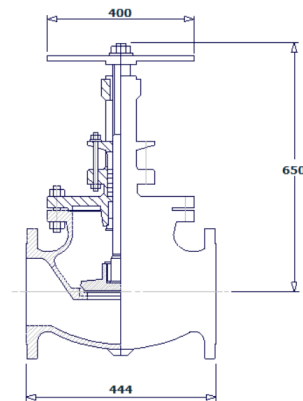


Imagen 254: ventana para introducir la brida WN en CaePipe

Las válvulas instaladas en los nodos 40 y 120, son válvula de globo de 6" NPS RF y clase 300#

6"NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 150kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

Imagen 255: valores geométricos de válvula de globo de 6" NPS RF y clase 300#



Valve from 30 to 40 ? X

Weight 101 (kg)

Length 16 (inch)

Thickness X 3.00

Insulation weight X 1.75

Additional weight (kg)

Valve Type Globe

Offsets of additional weight from valve center

DX (inch) DY (inch) DZ (inch)

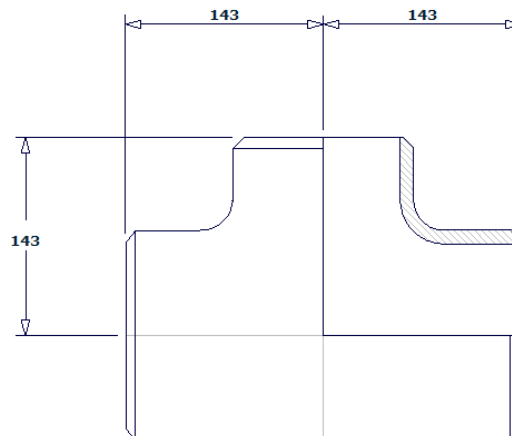
OK Cancel Library

Imagen 256: Ventana para introducir los valores de la válvula en el programa.

Este modelo también tiene una tee de 6" en el nodo 60 con todas sus diámetros iguales, como la que se muestra a continuación:

6"NPS BW Equal Tee Sch-STD

Weight = 16,48 kg



ASME B16.9-2018

Imagen 257: valores de una tee de 6" con todas sus conexiones del mismo tamaño

Una vez introducidos todos los valores del modelo y sus accesorios, procedemos al análisis de la línea.

12.2.2. Resultados del modelo 7-C30-6"

12.2.2.1. Tensiones

#	Sustained			Expansion			Occasional					
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	75	11.49	137.9	0.08	60	4.719	206.8	0.02	60	13.78	183.4	0.08
2	80A	11.13	137.9	0.08	10	3.360	206.8	0.02	10	13.45	183.4	0.07
3	60	10.31	137.9	0.07	140	3.166	206.8	0.02	20	13.06	183.4	0.07
4	70A	10.08	137.9	0.07	20	3.093	206.8	0.01	140	12.15	183.4	0.07
5	50A	9.644	137.9	0.07	70A	2.906	206.8	0.01	75	11.92	183.4	0.06
6	100B	9.632	137.9	0.07	130	2.906	206.8	0.01	70A	11.90	183.4	0.06
7	70B	9.164	137.9	0.07	80A	2.394	206.8	0.01	130	11.84	183.4	0.06
8	40	8.912	137.9	0.06	75	2.016	206.8	0.01	80A	11.42	183.4	0.06
9	50B	8.906	137.9	0.06	30	1.970	206.8	0.01	30	11.39	183.4	0.06
10	110	8.901	137.9	0.06	100A	1.907	206.8	0.01	70B	10.74	183.4	0.06
11	100A	8.883	137.9	0.06	120	1.812	206.8	0.01	50A	10.55	183.4	0.06
12	10	8.768	137.9	0.06	50B	1.771	206.8	0.01	120	10.53	183.4	0.06
13	140	8.761	137.9	0.06	100B	1.768	206.8	0.01	40	10.45	183.4	0.06
14	20	8.746	137.9	0.06	50A	1.592	206.8	0.01	100B	10.25	183.4	0.06
15	130	8.739	137.9	0.06	70B	0.954	206.8	0.00	110	9.960	183.4	0.05
16	90	8.718	137.9	0.06	40	0.782	206.8	0.00	50B	9.642	183.4	0.05
17	80B	8.671	137.9	0.06	110	0.654	206.8	0.00	100A	9.435	183.4	0.05
18	30	8.518	137.9	0.06	90	0.182	206.8	0.00	80B	8.873	183.4	0.05
19	120	8.506	137.9	0.06	80B	0.182	206.8	0.00	90	8.760	183.4	0.05

Imagen 258: resultados tensionales del modelo 7-C30-6"

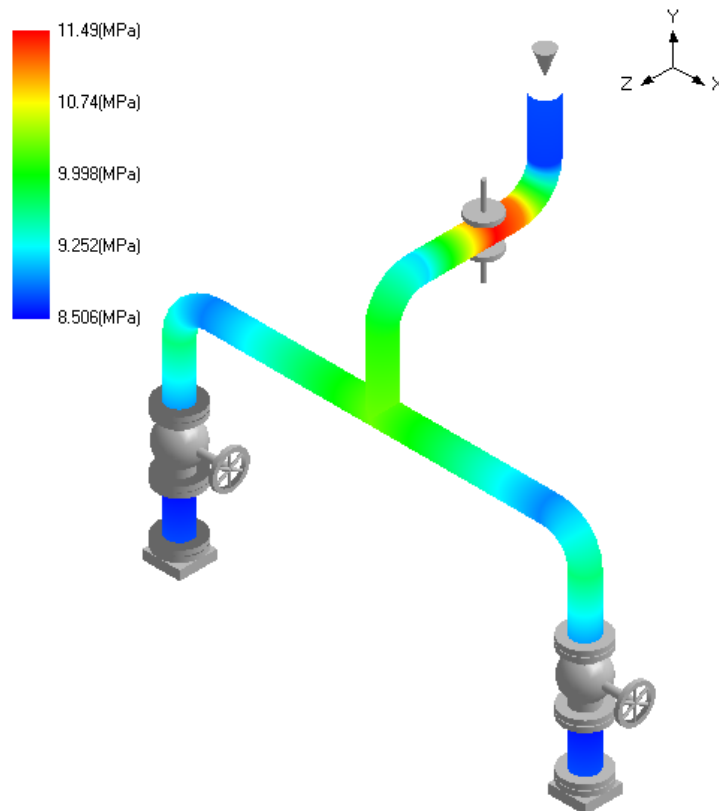


Imagen 259: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 7-C30-6"

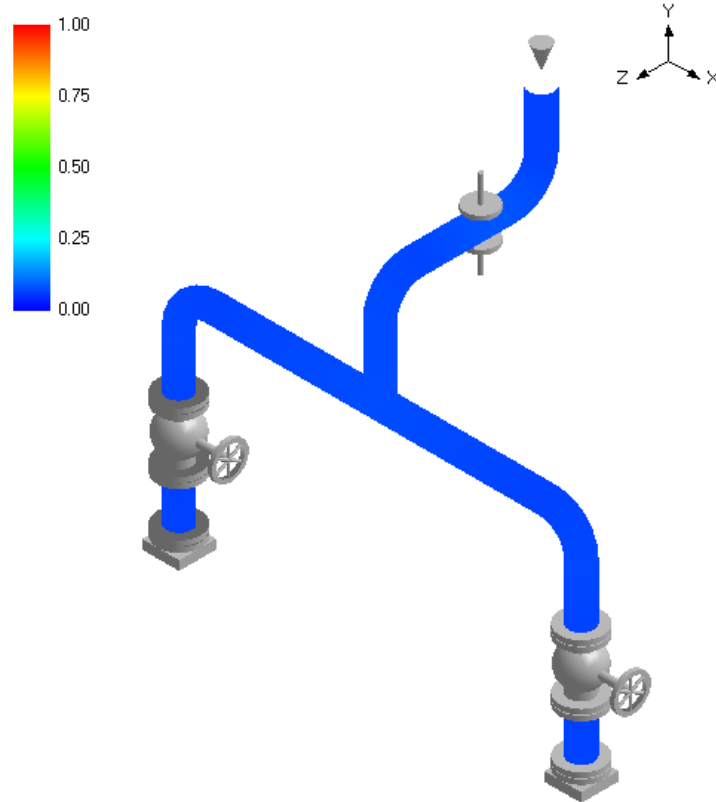


Imagen 260: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 7-C30-6"

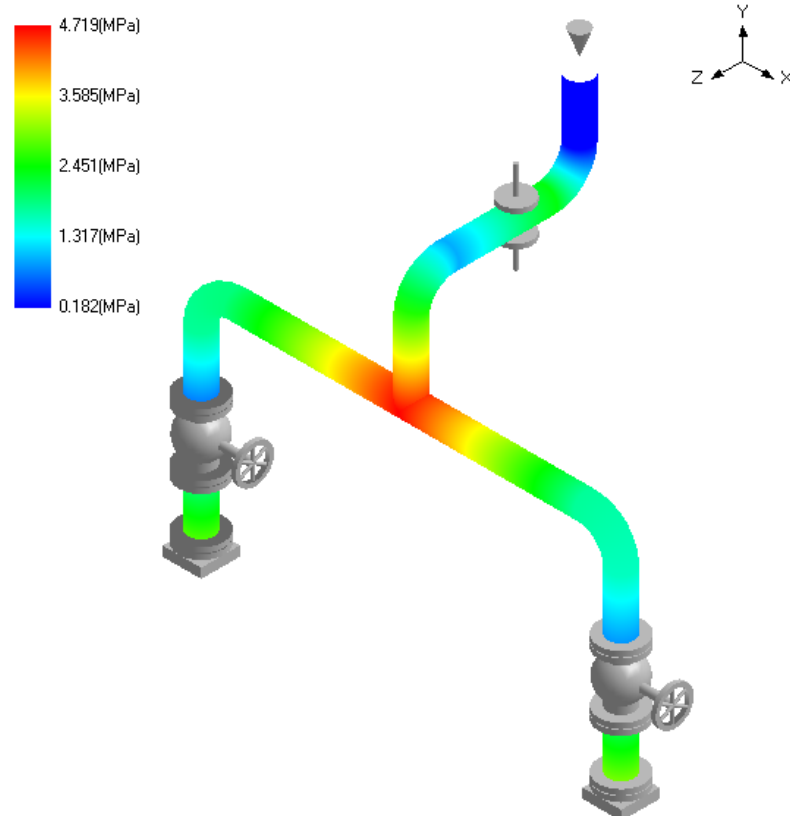


Imagen 261: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 7-C30-6"

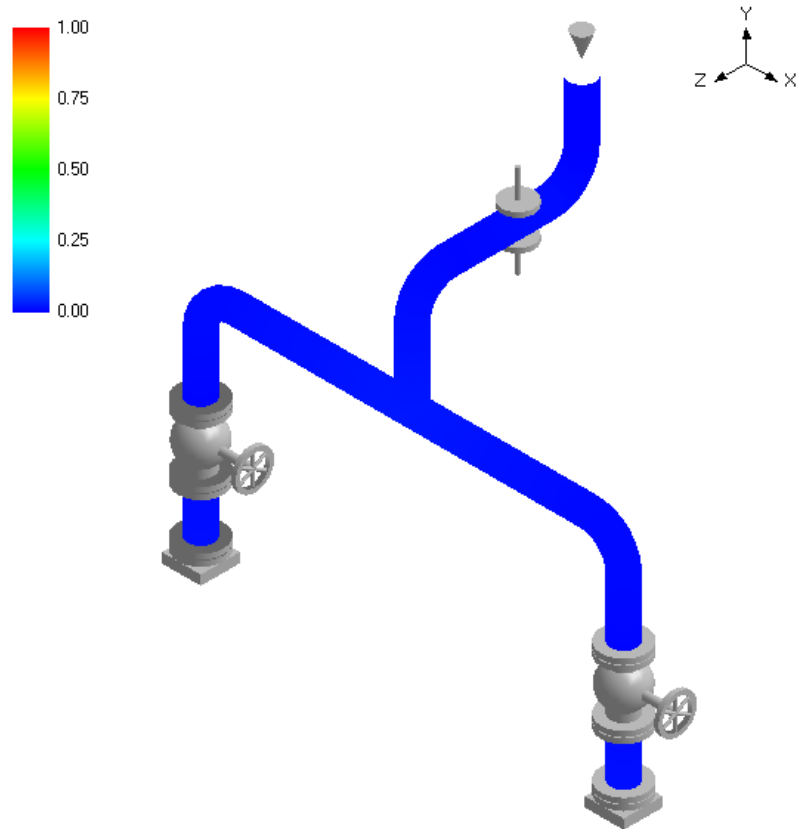


Imagen 262: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 7-C30-6"

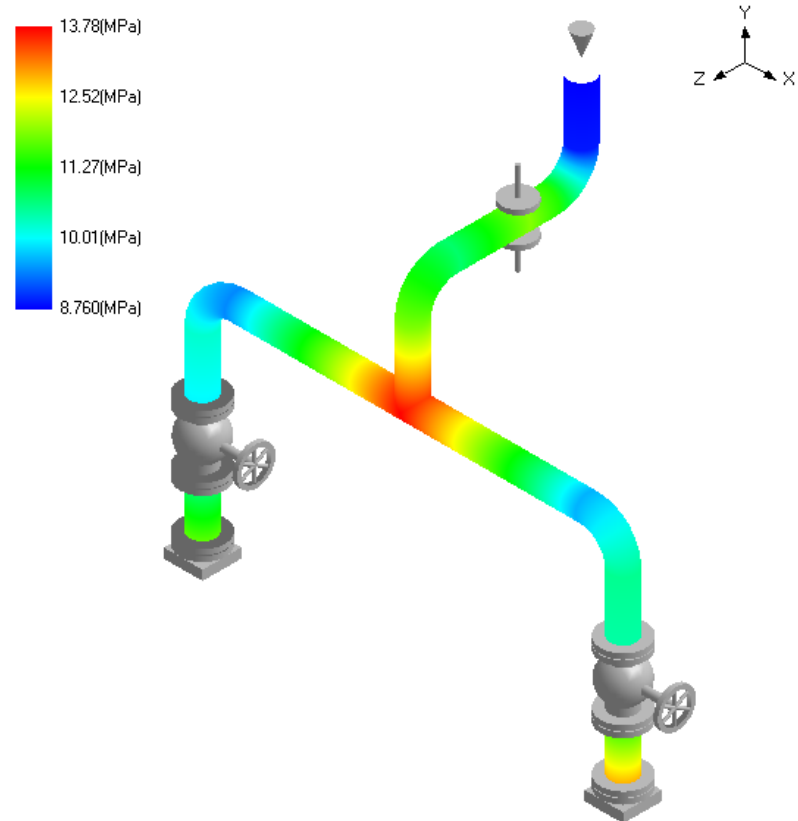


Imagen 263: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 7-C30-6"

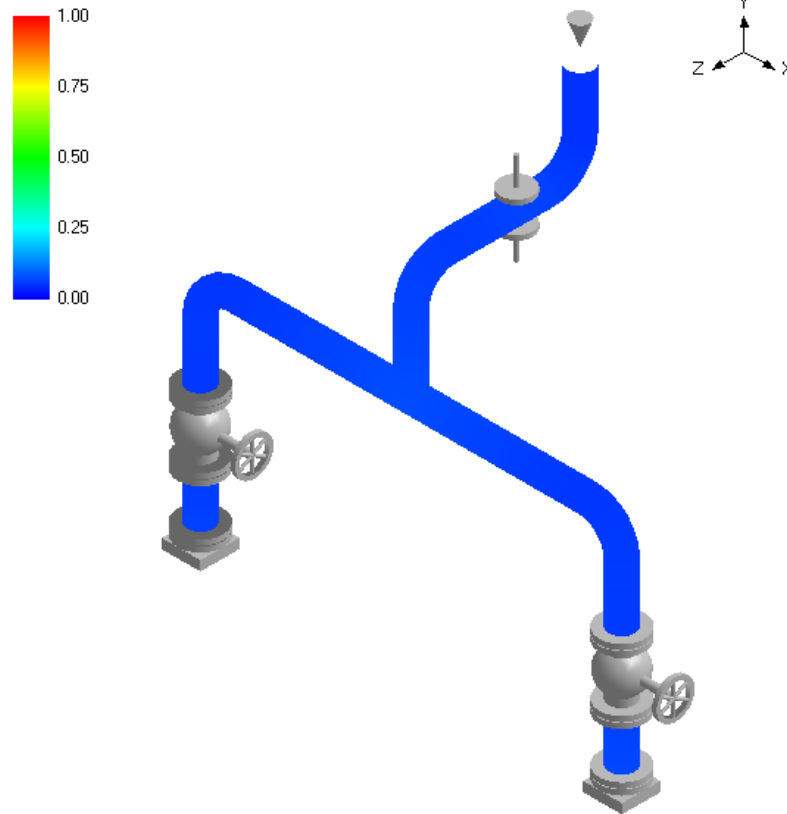


Imagen 264: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 7-C30-6"

12.2.2.2. Cargas en los soportes

Este es el apartado más importante para poder verificar la bomba. Ya que el programa no permite más de 20 líneas de programación, es necesario simular la línea de succión y la de descarga para ver que comportamiento tienen las bridas que conectan a la bomba. En este apartado encontraremos también el comportamiento del apoyo sobre la viga transversal AB.

El primer anclaje que nos encontramos está en el nodo 10 y es la unión entre la línea 7-C30-6" y la bomba P-101B. la línea se conecta en la tobera de descarga. Sus resultados son los siguientes:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	66	-1979	-30	-31	-10	-37	0.000	0.000	0.000
Sustained	106	-2389	-47	-49	-16	-60	0.000	0.000	0.000
Operating1	-299	-2032	-161	-193	-52	369	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	454	-2556	432	519	41	-363	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	50	-2199	318	375	5	66	0.000	0.000	0.000
Maximum	454	-1979	432	519	41	369	0.000	0.000	0.000
Minimum	-299	-2556	-161	-193	-52	-363	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 265: valores de la unión entre la línea 7-C30-6" y la tobera de descarga de la bomba P-101B

El siguiente anclaje es el de la línea con la otra bomba, ya que están en paralelo. Esta unión se da en el nodo 140 y conecta la línea con la tobera de descarga de la bomba P-101A, y los resultados son los siguiente:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-66	-1978	-28	-29	9	38	0.000	0.000	0.000
Sustained	-106	-2389	-45	-46	14	61	0.000	0.000	0.000
Operating1	289	-2029	-150	-175	44	-345	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	182	-2329	309	351	-31	-185	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	577	-1969	204	223	-1	-591	0.000	0.000	0.000
Maximum	577	-1969	309	351	44	61	0.000	0.000	0.000
Minimum	-106	-2389	-150	-175	-31	-591	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 266: valores de la unión entre la línea 7-C30-6" y la tobera de descarga de la bomba P-101A

el siguiente soporte que encontramos en la línea, es el que se encuentra sobre la viga transversal AB. Este es un patín que se ha representado mediante un Limit Stop en el nodo 75. Los resultados del apoyo se pueden ver a continuación:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-1137	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	-1807	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	-3182	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	-1807	0	0.194	0.000	0.253
Operating1+Wind	-3182	0	0.194	0.000	0.253
Maximum	-1137	0	0.194	0.000	0.253
Minimum	-3182	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 267: valores del soporte de la línea 7-C30-6" sobre la viga transversal AB

12.2.2.3. Desplazamientos

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	-0.0001
3	30	0.000	0.000	0.000	-0.0003	-0.0001	-0.0002
4	40	0.003	0.000	-0.003	-0.0003	-0.0002	-0.0002
5	50A	0.004	0.000	-0.006	-0.0003	-0.0003	0.0001
6	50B	0.000	-0.008	-0.008	0.0000	-0.0004	0.0020
7	60	0.000	-0.033	-0.014	0.0004	0.0000	0.0000
8	70A	0.000	-0.033	-0.008	0.0009	0.0000	0.0000
9	70B	0.000	-0.022	0.000	0.0030	0.0000	0.0000
10	75	0.000	0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
11	80A	0.000	0.003	0.000	0.0009	0.0000	0.0000
12	80B	0.000	0.000	-0.005	-0.0015	0.0000	0.0000
13	90	0.000	0.000	-0.015	-0.0015	0.0000	0.0000
14	100A	0.000	-0.009	-0.008	-0.0001	0.0004	-0.0020
15	100B	-0.004	0.000	-0.006	-0.0003	0.0004	-0.0001
16	110	-0.003	0.000	-0.003	-0.0003	0.0002	0.0002
17	120	0.000	0.000	0.000	-0.0003	0.0001	0.0003
18	130	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0001
19	140	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

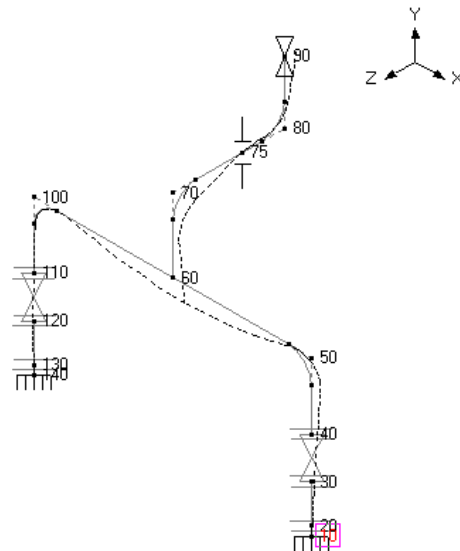


Imagen 268: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	-0.0001
3	30	0.000	0.000	0.000	-0.0004	-0.0002	-0.0004
4	40	0.005	0.000	-0.005	-0.0005	-0.0003	-0.0004
5	50A	0.007	0.000	-0.009	-0.0005	-0.0005	0.0002
6	50B	0.000	-0.013	-0.012	-0.0001	-0.0006	0.0032
7	60	0.000	-0.052	-0.022	0.0007	0.0000	0.0000
8	70A	0.000	-0.052	-0.013	0.0015	0.0000	0.0000
9	70B	0.000	-0.034	0.000	0.0047	0.0000	0.0000
10	75	0.000	0.000	0.000	0.0027	0.0000	0.0000
11	80A	0.000	0.005	0.000	0.0014	0.0000	0.0000
12	80B	0.000	0.000	-0.008	-0.0023	0.0000	0.0000
13	90	0.000	0.000	-0.023	-0.0023	0.0000	0.0000
14	100A	0.000	-0.013	-0.013	-0.0001	0.0006	-0.0032
15	100B	-0.007	0.000	-0.010	-0.0005	0.0006	-0.0002
16	110	-0.006	0.000	-0.006	-0.0006	0.0004	0.0003
17	120	0.000	0.000	0.000	-0.0004	0.0002	0.0004
18	130	0.000	0.000	0.000	-0.0001	0.0000	0.0001
19	140	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

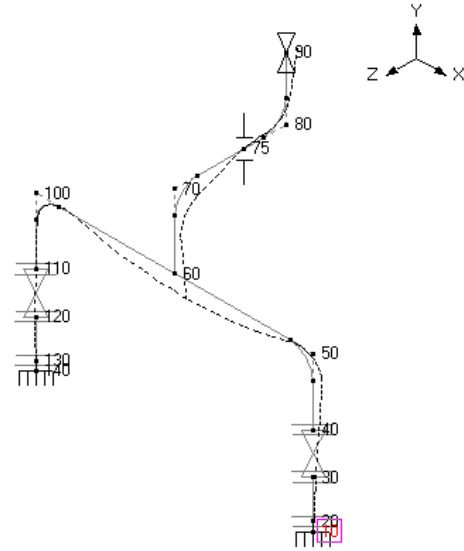


Imagen 269: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.006	0.000	-0.0003	-0.0001	0.0009
3	30	-0.018	-0.031	-0.006	-0.0013	-0.0005	0.0038
4	40	-0.047	-0.057	-0.016	-0.0015	-0.0006	0.0041
5	50A	-0.079	-0.085	-0.028	-0.0017	-0.0011	0.0041
6	50B	-0.071	-0.099	-0.041	-0.0015	-0.0016	-0.0027
7	60	0.004	-0.051	-0.063	-0.0004	-0.0001	0.0001
8	70A	0.004	-0.083	-0.063	0.0009	0.0000	0.0001
9	70B	0.000	-0.071	-0.030	0.0089	0.0002	0.0003
10	75	0.000	0.000	0.000	0.0077	0.0003	0.0003
11	80A	0.000	0.022	0.012	0.0068	0.0003	0.0003
12	80B	-0.003	0.026	0.043	0.0037	0.0003	0.0003
13	90	-0.005	0.000	0.068	0.0037	0.0003	0.0003
14	100A	0.080	-0.100	-0.043	-0.0016	0.0015	0.0027
15	100B	0.086	-0.085	-0.030	-0.0019	0.0012	-0.0047
16	110	0.049	-0.057	-0.016	-0.0017	0.0008	-0.0049
17	120	0.017	-0.031	-0.005	-0.0012	0.0004	-0.0035
18	130	0.000	-0.006	0.000	-0.0003	0.0001	-0.0008
19	140	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

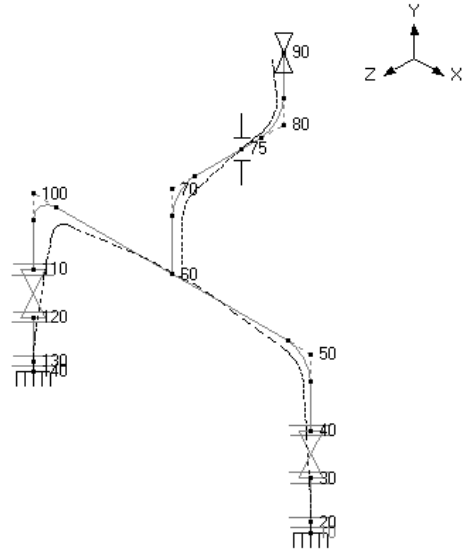


Imagen 270: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	-0.006	0.000	-0.0004	-0.0001	0.0008
3	30	-0.016	-0.032	-0.008	-0.0017	-0.0008	0.0034
4	40	-0.041	-0.059	-0.021	-0.0020	-0.0009	0.0038
5	50A	-0.072	-0.087	-0.037	-0.0021	-0.0016	0.0042
6	50B	-0.071	-0.112	-0.053	-0.0016	-0.0022	0.0005
7	60	0.004	-0.103	-0.085	0.0003	-0.0001	0.0001
8	70A	0.003	-0.135	-0.076	0.0024	0.0000	0.0001
9	70B	0.000	-0.105	-0.030	0.0136	0.0002	0.0003
10	75	0.000	0.000	0.000	0.0104	0.0003	0.0003
11	80A	0.000	0.028	0.012	0.0082	0.0003	0.0003
12	80B	-0.003	0.026	0.036	0.0014	0.0003	0.0003
13	90	-0.005	0.000	0.045	0.0014	0.0003	0.0003
14	100A	0.080	-0.113	-0.056	-0.0017	0.0020	-0.0005
15	100B	0.080	-0.087	-0.040	-0.0024	0.0018	-0.0049
16	110	0.043	-0.060	-0.022	-0.0023	0.0012	-0.0046
17	120	0.015	-0.032	-0.007	-0.0016	0.0006	-0.0031
18	130	0.000	-0.006	0.000	-0.0004	0.0001	-0.0007
19	140	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

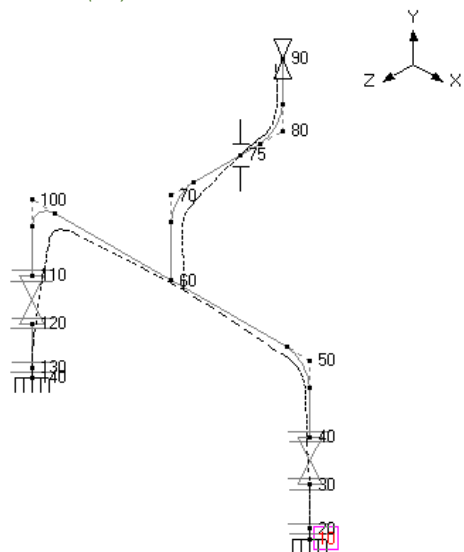


Imagen 271: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-6"

#	Node	Displacements (global)					
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	XX (deg)	YY (deg)	ZZ (deg)
1	10	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	0.000	0.000	0.000	0.0012	0.0002	-0.0006
3	30	0.012	0.000	0.024	0.0052	0.0008	-0.0025
4	40	0.032	0.000	0.064	0.0059	0.0010	-0.0028
5	50A	0.053	0.000	0.113	0.0071	0.0018	-0.0027
6	50B	0.059	0.000	0.154	0.0079	0.0025	0.0008
7	60	0.060	-0.012	0.178	0.0070	-0.0013	-0.0006
8	70A	0.074	-0.012	0.236	0.0063	-0.0038	-0.0023
9	70B	0.118	0.000	0.253	0.0007	-0.0090	-0.0061
10	75	0.194	0.000	0.253	0.0000	-0.0098	-0.0065
11	80A	0.226	0.000	0.253	0.0000	-0.0099	-0.0067
12	80B	0.296	0.000	0.254	0.0004	-0.0106	-0.0074
13	90	0.345	0.000	0.257	0.0005	-0.0106	-0.0075
14	100A	0.059	-0.006	0.132	0.0072	-0.0027	-0.0005
15	100B	0.051	0.000	0.094	0.0063	-0.0018	-0.0029
16	110	0.029	0.000	0.050	0.0054	-0.0012	-0.0029
17	120	0.010	0.000	0.017	0.0036	-0.0007	-0.0021
18	130	0.000	0.000	0.000	0.0008	-0.0001	-0.0005
19	140	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000

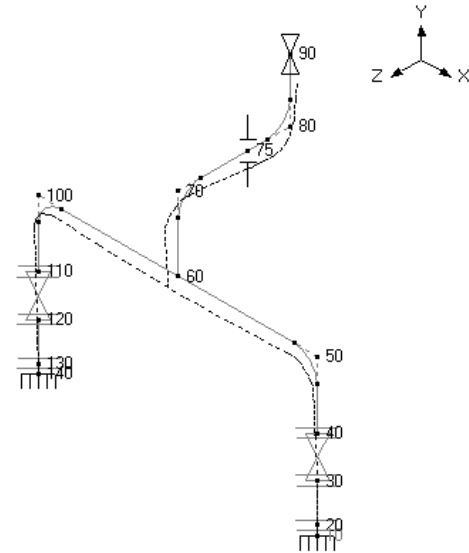


Imagen 272: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-6"

12.2.2.4. Frecuencias

Como se puede ver en los modos de vibración de la línea 7-C30-6", tiene un primer modo a 16,225Hz, dotando a la línea de una rigidez sorprendente, gracias a su corto recorrido y sus 3 apoyos.

#	Frequency (Hz)	Period (second)	Participation factors			Modal mass / Total mass		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	16.225	0.0616	-0.0833	-0.0433	1.3580	0.0020	0.0005	0.5258
2	17.689	0.0565	0.9698	-0.0043	0.1316	0.2682	0.0000	0.0049
3	29.657	0.0337	1.2450	0.0006	-0.0136	0.4420	0.0000	0.0001
4	40.112	0.0249	-0.1213	0.0051	-0.0083	0.0042	0.0000	0.0000
5					Total	0.7164	0.0005	0.5308

Imagen 273: modos de vibración de la línea 7-C30-6"

13. Simulación línea 6-C30-10"

La línea 6-C30-10" se simula con la intención de poder comprobar que las bombas que conecta cumplan con la normativa API 610. Esta comprobación se hará también en CaePipe. Para realizar la comprobación es necesario conocer los valores que se dan en las toberas de succión y descarga de las bombas P-101A y P-101B. Si tuviésemos la versión pro de CaePipe, podríamos simular las líneas 6 y 7 junto con las bombas, pero como no se puede por límite de nodos.

Esta línea se ha tenido que simular dos veces, ya que, con los valores obtenidos de la primera simulación, las bombas no cumplían con la normativa API-610.

La primera simulación (simulación ORIGINAL), se ha hecho acorde a los planos del modelo, donde la línea se sustenta completamente del depósito, y antes de conectarse con las bombas reduce el diámetro de la línea de 10" a 8".

En la segunda simulación (simulación resolutive), para conseguir nodos donde programar una solución, se han eliminado los reductores, y en su lugar se han colocado unos patines que soporten el peso de la línea, pero permitan cierto movimiento.

13.1. Simulación línea 6-C30-10" ORIGINAL

13.1.1. Modelado de la línea en CaePipe

Los datos de la se pueden encontrar en la "Memoria descriptiva", en el apartado "5.4.6. Línea 6" y los datos son:

- Diámetro → 10 y 8 pulgadas
- Clase → 300#
- Schedule → Estándar
- Temperatura de operación → (Desconocida) 25 °C
- Temperatura de diseño → 50°C
- Presión de operación → (desconocida) 20 bar
- Presión de diseño → 22 bar

Como en los casos anteriores, declaramos el viento según normativa EN-1991-1-4-(2010) y el material A53 grado B como en los modelos anteriores.

#	Name	Nom Dia	Sch	DD (inch)	Thk (inch)	Cor.Al (inch)	M.Tol (%)	Ins.Dens (kg/m3)	Ins.Thk (inch)	Lin.Dens (kg/m3)	Lin.Thk (inch)	Soil
1	10	10"	STD	10.75	0.365							
2	8	8"	STD	8.625	0.322							

Imagen 274: valores de las dos secciones introducidas en CaePipe y como se muestran

Imagen 275: condiciones de trabajo de la línea 6-C30-10"

Ahora que ya tenemos las constantes del modelo declaradas, se mostrara la programación de las dos simulaciones

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 6-C30-10"								
2	10	From							Anchor
3	20			-118		A53	10	L1	Flange
4	30	Bend		-1451.8		A53	10	L1	
5	40				-1200	A53	10	L1	Welding tee
6	50	Bend	1346.2			A53	10	L1	
7	60			-748.5		A53	10	L1	Flange
8	70	Valve		-622.3		A53	10	L1	Flange
9	73	Bend		-1255.5		A53	10	L1	
10	75				-381	A53	10	L1	
11	77	Reducer			-356	A53	8	L1	Flange
12	79				-118	A53	8	L1	Anchor
13	40	From							
14	80	Bend	-1346.2			A53	10	L1	
15	90			-748.5		A53	10	L1	Flange
16	100	Valve		-622.3		A53	10	L1	Flange
17	110	Bend		-1255.5		A53	10	L1	
18	120				-381	A53	10	L1	
19	130	Reducer			-356	A53	8	L1	Flange
20	140				-118	A53	8	L1	Anchor

Imagen 276 programación del modelo de acuerdo con los planos originales

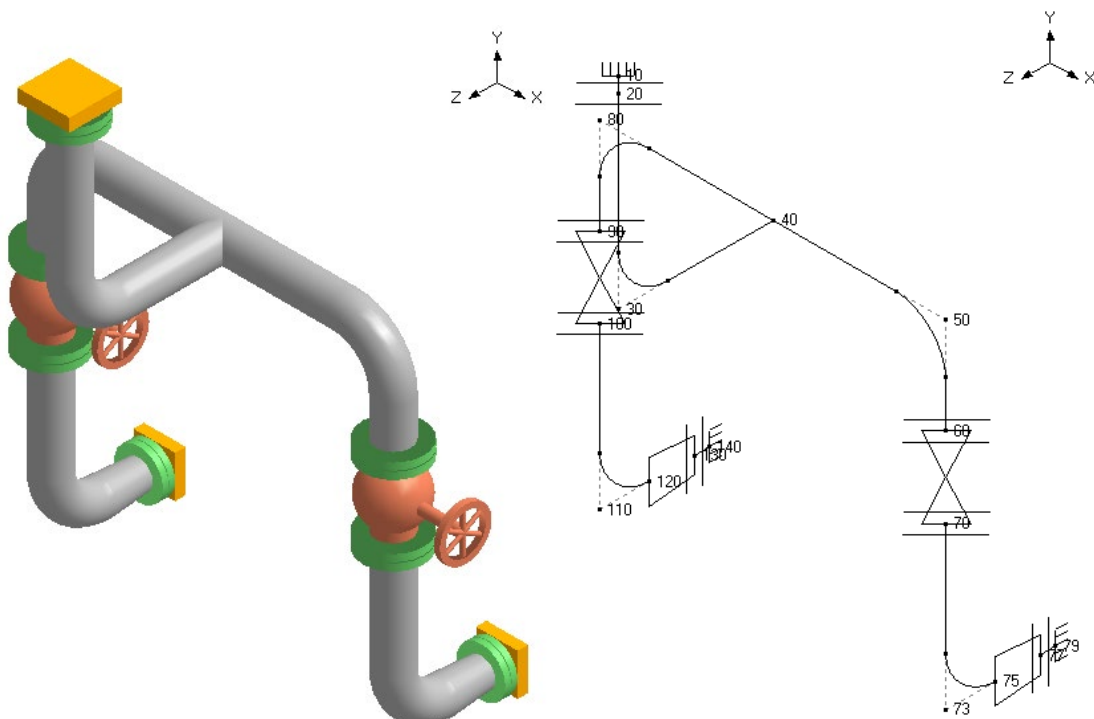


Imagen 277: representación en 3D del modelo 6-C30-10" ORIGINAL

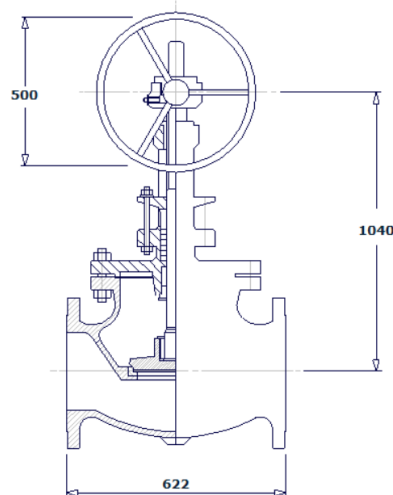
Imagen 278: representación a una línea del modelo 6-C30-10" ORIGINAL y sus nodos

Las bridas instaladas en los nodos 20,60,70,90 y 100 corresponden a bridas de 10 pulgadas WeldNeck RF de clase 300# y Schedule STD como las que montaba la línea 4-C30-10", imagen 71.

Mientras que las bridas instaladas en los nodos 77 y 130, corresponden a bridas de 8 pulgadas WeldNeck RF de clase 300# y Schedule STD como las que montaba la línea 5-C30-8", imagen 39 del anejo "Datos físicos y geométricos".

Las valvulas colocadas en los ndoos 70 y 100 corresponden a valvulas de globo de 10", clase 300# y caras RF como la siguiente

10"NPS Flanged Globe Valve 300# RF
Valve Weight = 527kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

Imagen 279: valores de PipeDataPro para una válvula de globo de 10" RF y clase 300#

Y se introduce en el modelo:

Valve from 60 to 70		?	×
Weight	<input type="text" value="527"/>	(kg)	
Length	<input type="text" value="24.5"/>	(inch)	
Thickness	<input type="text" value="1.00"/>		
Insulation weight	<input type="text" value="1.00"/>		
Additional weight	<input type="text"/>	(kg)	
Valve Type	<input type="text" value="Globe"/>		
Offsets or additional weight from valve center			
DX (inch)	DY (inch)	DZ (inch)	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>	<input type="button" value="Library"/>	

Imagen 280: valores introducidos en el programa para una válvula de globo 10" RF 300#

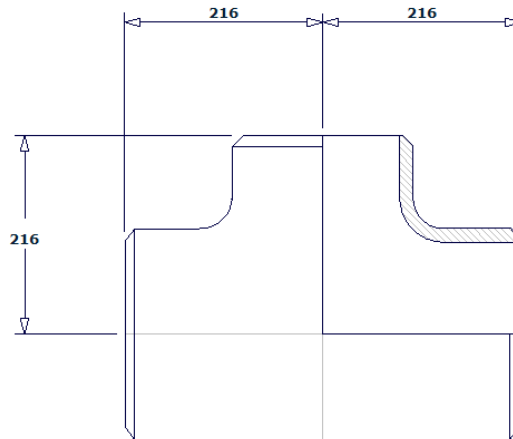
Esta línea también tiene otros accesorios como una Tee y dos reductores.

la tee se conecta en el nodo 40 y tiene los 3 diámetros iguales y sus dimensiones se muestran a continuación:



10"NPS BW Equal Tee Sch-STD

Weight = 49,35 kg



ASME B16.9-2018

Imagen 281: valores según PipeDataPro para una tee de 8" con todas las conexiones iguales

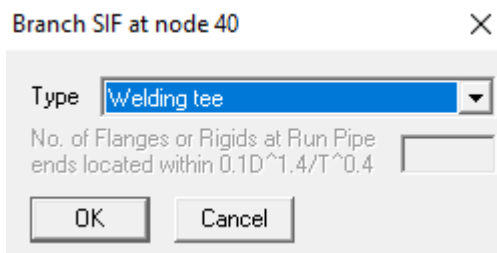
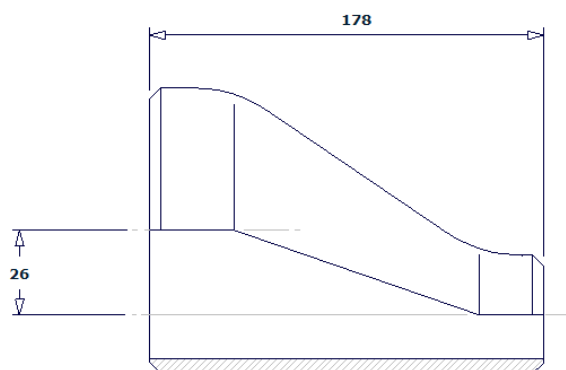


Imagen 282: introducción de tee en CaePipe

10" x 8"NPS BW Eccentric Reducer Sch-STD

Weight = 10,7 kg



ASME B16.9-2018

Imagen 283: valores de PipeDataPro para un reductor excéntrico de 10" a 8"

La manera de introducir el reductor excéntrico en el programa es seleccionando las diferentes secciones como se muestra a continuación:

Imagen284 : configuración de los reductores concéntricos para el equipo

Ahora que ya tenemos el modelo completamente declarado, lo guardamos y realizamos su análisis.

13.1.2. Resultados del modelo

Como este modelo se ha simulado con la intención de ver cuáles son los resultados de la unión entre la línea y las bombas, por ello, no se van a mostrar los mismos resultados que en el resto de líneas, sino que únicamente se mostrará que las tensiones cumplen junto con la representación tensional de las acciones SLH, y el comportamiento de los soportes, que es el valor objetivo.

13.1.2.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+S0 (MPa)	SHO (MPa)	SL+S0 SHO
1	140	34.46	137.9	0.25	40	5.680	206.8	0.03	79	35.79	183.4	0.20
2	79	34.46	137.9	0.25	30A	2.373	206.8	0.01	140	35.69	183.4	0.19
3	130	29.91	137.9	0.22	80B	2.169	206.8	0.01	77	31.09	183.4	0.17
4	77	29.91	137.9	0.22	50B	2.169	206.8	0.01	130	31.03	183.4	0.17
5	110B	18.45	137.9	0.13	140	1.360	206.8	0.01	110B	19.20	183.4	0.10
6	73B	18.45	137.9	0.13	79	1.360	206.8	0.01	73B	19.08	183.4	0.10
7	110A	15.79	137.9	0.11	110A	1.167	206.8	0.01	10	18.21	183.4	0.10
8	73A	15.79	137.9	0.11	73A	1.167	206.8	0.01	20	17.68	183.4	0.10
9	10	15.34	137.9	0.11	50A	1.112	206.8	0.01	40	16.21	183.4	0.09
10	20	15.12	137.9	0.11	80A	1.112	206.8	0.01	110A	16.16	183.4	0.09
11	40	15.11	137.9	0.11	130	1.094	206.8	0.01	73A	16.08	183.4	0.09
12	120	14.95	137.9	0.11	77	1.094	206.8	0.01	120	15.48	183.4	0.08
13	75	14.95	137.9	0.11	10	0.879	206.8	0.00	75	15.41	183.4	0.08
14	30A	14.39	137.9	0.10	60	0.824	206.8	0.00	30A	14.90	183.4	0.08
15	80B	13.26	137.9	0.10	90	0.824	206.8	0.00	80B	13.88	183.4	0.08
16	50B	13.26	137.9	0.10	20	0.725	206.8	0.00	50B	13.75	183.4	0.07
17	90	12.65	137.9	0.09	30B	0.674	206.8	0.00	90	13.10	183.4	0.07
18	60	12.65	137.9	0.09	73B	0.547	206.8	0.00	60	13.05	183.4	0.07
19	100	12.33	137.9	0.09	110B	0.547	206.8	0.00	30B	12.74	183.4	0.07
20	70	12.33	137.9	0.09	70	0.432	206.8	0.00	70	12.73	183.4	0.07
21	50A	11.88	137.9	0.09	100	0.432	206.8	0.00	100	12.72	183.4	0.07
22	80A	11.88	137.9	0.09	75	0.407	206.8	0.00	50A	12.43	183.4	0.07
23	30B	11.71	137.9	0.08	120	0.407	206.8	0.00	80A	12.24	183.4	0.07

Imagen 285: resultados tensionales del modelo 6-C30-10" ORIGINAL

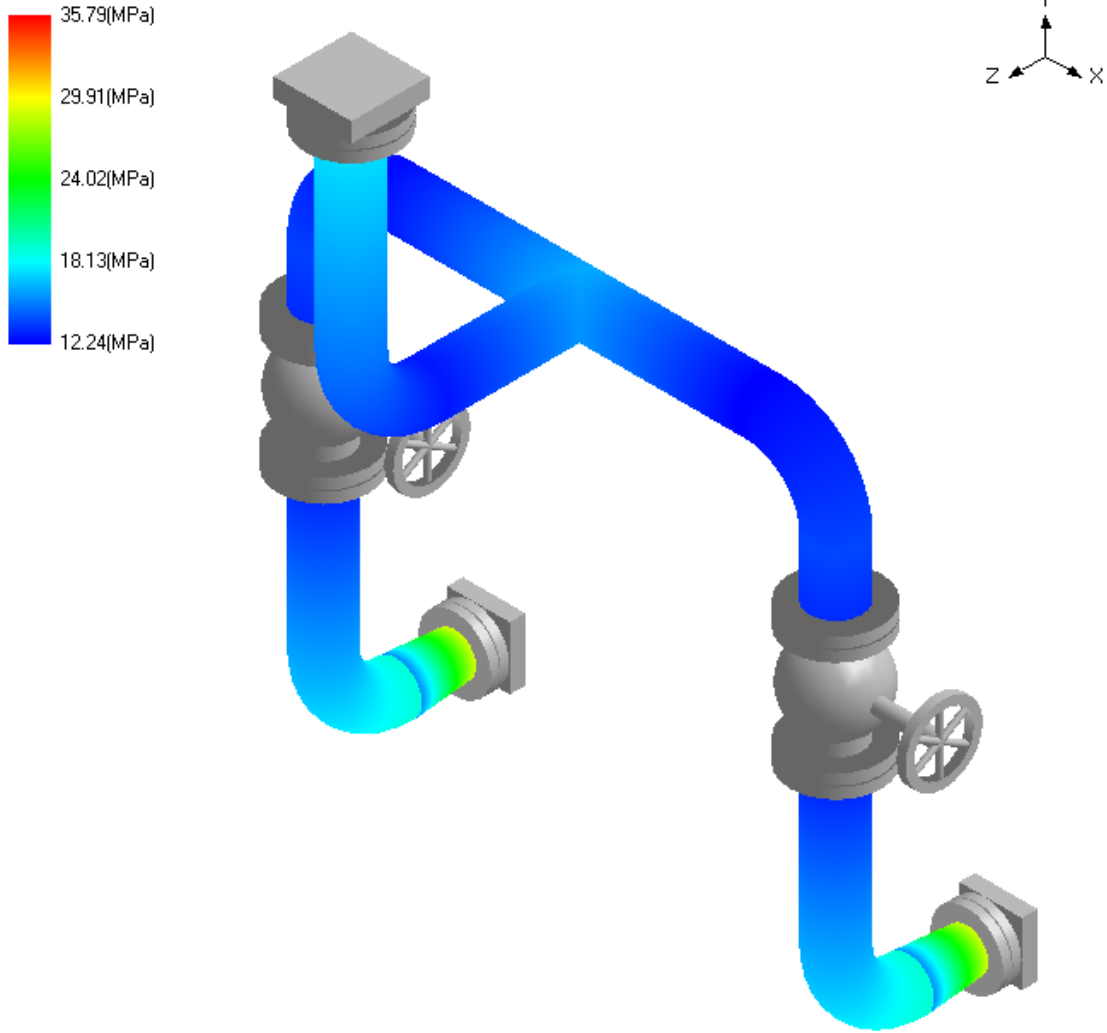


Imagen 286: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 6-C30-10" ORIGINAL

13.1.2.2. Cargas en los soportes

El primer soporte que hemos instalado en la línea ha sido la conexión entre esta y el depósito V-101 en el nodo 10. La línea en este modelo se sustenta completamente de esta unión, repartiendo el resto de peso en las toberas de las bombas.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	0	-2729	760	-1508	0	0	0.000	0.000	0.000
Sustained	0	-3963	888	-1855	0	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	0	-2505	1531	-2192	0	0	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	753	-3884	1938	-3024	-222	739	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	753	-2426	2580	-3362	-222	739	0.000	0.000	0.000
Maximum	753	-2426	2580	-1508	0	739	0.000	0.000	0.000
Minimum	0	-3963	760	-3362	-222	0	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 287: valores para la conexión entre el modelo 6-C30-10" ORIGINAL y el depósito

La siguiente unión la encontramos en el nodo 79 y corresponde a la unión entre la línea y la tobera de succión de la bomba P-101A. Los resultados de esta unión se muestran a continuación.

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	35	-8716	-380	5526	33	-10	0.000	0.000	0.000
Sustained	84	-10652	-444	6747	76	-26	0.000	0.000	0.000
Operating1	247	-11381	-765	7066	69	-193	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	530	-10682	-131	6916	278	-219	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	693	-11411	-452	7235	270	-386	0.000	0.000	0.000
Maximum	693	-8716	-131	7235	278	-10	0.000	0.000	0.000
Minimum	35	-11411	-765	5526	33	-386	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 288: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10" ORIGINAL y la tobera de succión de la bomba P-101A

El ultimo soporte del modelo es la unión entre este y la tobera de succión de la bomba P-101B. los resultados se muestran a continuación:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-35	-8716	-380	5526	-33	10	0.000	0.000	0.000
Sustained	-84	-10652	-444	6747	-76	26	0.000	0.000	0.000
Operating1	-247	-11381	-765	7066	-69	193	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	339	-10851	-183	6963	150	-144	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	176	-11580	-504	7282	158	23	0.000	0.000	0.000
Maximum	339	-8716	-183	7282	158	193	0.000	0.000	0.000
Minimum	-247	-11580	-765	5526	-76	-144	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 289: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10" ORIGINAL y la tobera de succión de la bomba P-101B

Ahora que tenemos los resultados de las toberas de conexión entre la línea y las bombas, se simulara junto con los valores de la línea 7-C30-6" que conectaban con las toberas de descarga de las bombas. Esta simulación se realiza en el apartado "12.1.2.2. Cargas en los soportes" de la línea 7 de este mismo documento.

13.2. Simulación línea 6-C30-10" RESOLUTIVO

Tras la simulación de las bombas con los resultados anteriores, se ha verificado que no cumple con la normativa Api-610 par abombas rotativas. No cumple la norma porque sobre carga las toberas de succión de las bombas. Para solucionar este problema, en el lugar en el que estaban los reductores excéntricos, se van a sustituir (por falta de espacio para modelar) por dos Limit stop que harán las funciones de patines, consiguiendo así reducir notablemente los esfuerzos sobre las toberas de las bombas.

Para esta modelo, se introducirán las mismas variables que para el modelo anterior (material, sección, cargas y viento) eliminando la necesidad de declarar la sección de 8" ya que por falta de espacio en el programa no se puede cambiar de diámetro.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = 6-C30-10"-RESOLUTIVO								
2	10	From							Anchor
3	20			-118		A53	10	L1	Flange
4	30	Bend		-1451.8		A53	10	L1	
5	40				-1200	A53	10	L1	Welding tee
6	50	Bend	1346.2			A53	10	L1	
7	60			-748.5		A53	10	L1	Flange
8	70	Valve		-622.3		A53	10	L1	Flange
9	73	Bend		-1255.5		A53	10	L1	
10	75				-381	A53	10	L1	Limit stop
11	76				-363	A53	10	L1	Flange
12	77				-112	A53	10	L1	Anchor
13	40	From							
14	80	Bend	-1346.2			A53	10	L1	
15	90			-748.5		A53	10	L1	Flange
16	100	Valve		-622.3		A53	10	L1	Flange
17	110	Bend		-1255.5		A53	10	L1	
18	120				-381	A53	10	L1	Limit stop
19	125				-363	A53	10	L1	Flange
20	130				-112	A53	10	L1	Anchor

Imagen 290: programación del modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO

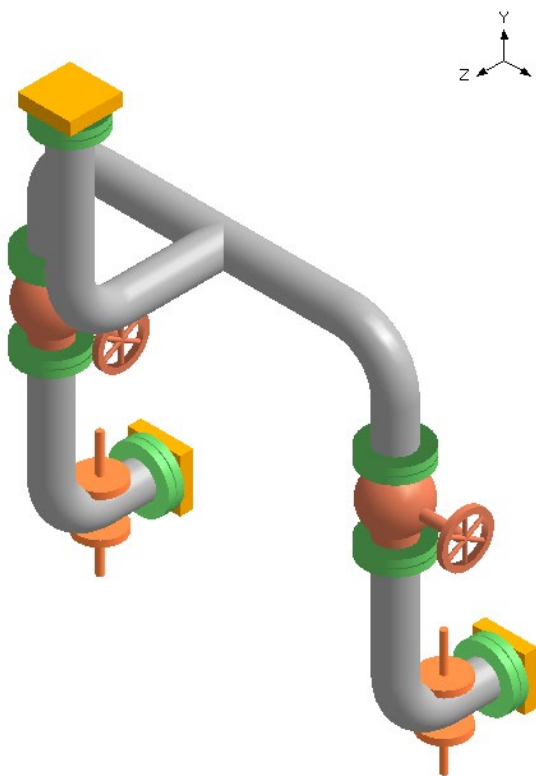


Imagen 291. representación en 3D del modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO

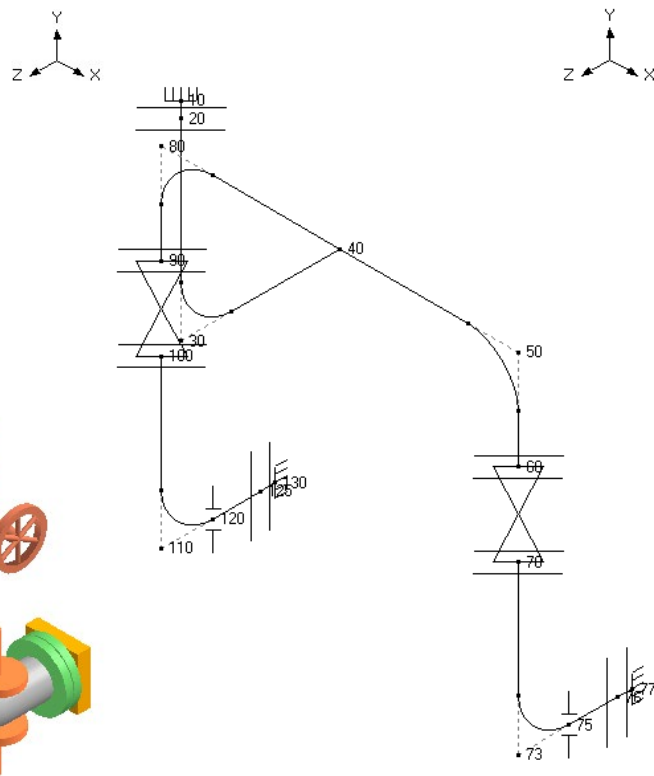


Imagen 292: representación a una línea del modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO y sus nodos

La única diferencia respecto a los accesorios utilizados en el modelo 6-C30-10" ORIGINAL es que desaparecen los reductores excéntricos, y que las bridas que conectan la línea con los equipos rotativos serán de 10" como el resto de la línea.

Ahora que ya tenemos este nuevo modelo completo, lo guardamos y realizamos el análisis.

13.2.1. Resultados del modelo

Como sucedía con su hermana gemela, esta línea se ha simulado únicamente para obtener el valor de la unión entre la línea y las bombas, y los resultados que aquí se van a mostrar van a ser los mismos.

13.2.1.1. Tensiones

#	Sustained				Expansion				Occasional			
	Node	SL (MPa)	SH (MPa)	SL SH	Node	SE (MPa)	SA (MPa)	SE SA	Node	SL+SO (MPa)	SHO (MPa)	SL+SO SHO
1	73B	18.68	137.9	0.14	40	1.690	206.8	0.01	73B	19.50	183.4	0.11
2	110B	18.63	137.9	0.14	30A	0.705	206.8	0.00	110B	19.32	183.4	0.11
3	75	15.08	137.9	0.11	80B	0.662	206.8	0.00	10	16.51	183.4	0.09
4	120	15.05	137.9	0.11	50B	0.638	206.8	0.00	20	16.05	183.4	0.09
5	40	14.17	137.9	0.10	80A	0.340	206.8	0.00	40	15.79	183.4	0.09
6	10	13.70	137.9	0.10	50A	0.326	206.8	0.00	75	15.66	183.4	0.09
7	110A	13.54	137.9	0.10	73A	0.323	206.8	0.00	120	15.55	183.4	0.08
8	20	13.53	137.9	0.10	110A	0.320	206.8	0.00	73A	13.88	183.4	0.08
9	73A	13.46	137.9	0.10	90	0.257	206.8	0.00	110A	13.84	183.4	0.08
10	30A	12.65	137.9	0.09	60	0.245	206.8	0.00	30A	13.13	183.4	0.07
11	80B	12.30	137.9	0.09	10	0.245	206.8	0.00	50B	12.80	183.4	0.07
12	50B	12.20	137.9	0.09	20	0.201	206.8	0.00	80B	12.79	183.4	0.07
13	76	12.10	137.9	0.09	30B	0.190	206.8	0.00	30B	12.78	183.4	0.07
14	125	12.09	137.9	0.09	110B	0.173	206.8	0.00	76	12.68	183.4	0.07
15	50A	11.83	137.9	0.09	73B	0.162	206.8	0.00	125	12.66	183.4	0.07
16	80A	11.80	137.9	0.09	100	0.142	206.8	0.00	80A	12.36	183.4	0.07
17	90	11.78	137.9	0.09	70	0.133	206.8	0.00	90	12.18	183.4	0.07
18	30B	11.75	137.9	0.09	120	0.131	206.8	0.00	50A	12.17	183.4	0.07
19	60	11.72	137.9	0.09	75	0.127	206.8	0.00	60	12.15	183.4	0.07
20	100	11.51	137.9	0.08	125	0.115	206.8	0.00	77	12.04	183.4	0.07
21	70	11.46	137.9	0.08	76	0.114	206.8	0.00	130	12.04	183.4	0.07
22	130	11.40	137.9	0.08	130	0.112	206.8	0.00	100	11.89	183.4	0.06
23	77	11.40	137.9	0.08	77	0.112	206.8	0.00	70	11.82	183.4	0.06

Imagen 293: resultados tensionales del modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO

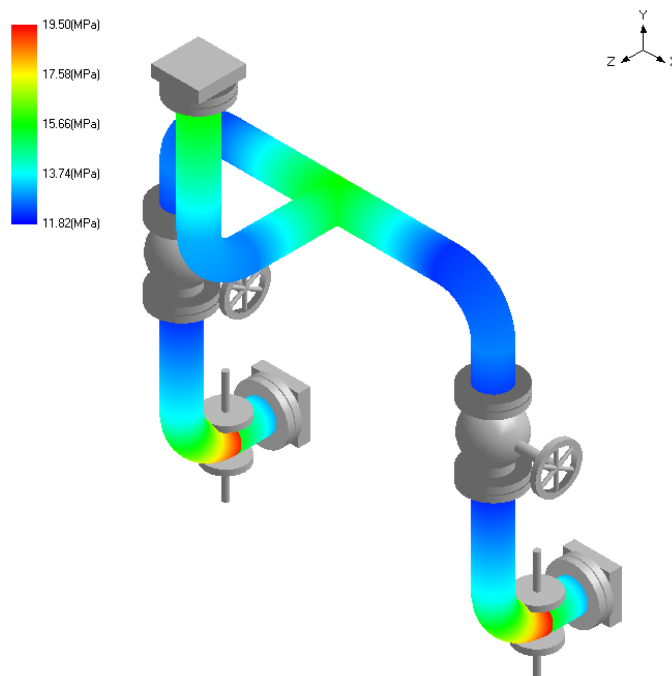


Imagen 294: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO

13.2.1.2. Cargas en los soportes

En este modelo se ha soportado la línea en 5 apoyos, liberando así notablemente la carga sobre las toberas de succión de la bomba.

El primer soporte que nos encontramos es la unión entre el modelo y el depósito V-101. Esta unión se da en el nodo 10 mediante un anclaje y sus resultados son:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	1	-2047	501	-848	-2	-1	0.000	0.000	0.000
Sustained	2	-3125	611	-1100	-3	0	0.000	0.000	0.000
Operating1	2	-3557	427	-1007	-2	-1	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	739	-3030	1655	-2252	-216	719	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	739	-3462	1471	-2160	-216	719	0.000	0.000	0.000
Maximum	739	-2047	1655	-848	-2	719	0.000	0.000	0.000
Minimum	1	-3557	427	-2252	-216	-1	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 295: resultados de la unión entre el depósito V-101 y el modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO

El siguiente soporte que encontramos es la unión entre el modelo y la tobera de succión de la bomba P-101A en el nodo 77, sus resultados:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	80	2370	-252	136	41	-40	0.000	0.000	0.000
Sustained	140	3145	-308	173	86	-65	0.000	0.000	0.000
Operating1	90	3144	-217	173	88	-11	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	606	3480	5	183	299	-278	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	556	3479	96	183	301	-223	0.000	0.000	0.000
Maximum	606	3480	96	183	301	-11	0.000	0.000	0.000
Minimum	80	2370	-308	136	41	-278	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 296: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO y la tobera de succión de la bomba P-101A

La unión entre el modelo y la tobera de succión de la bomba P-101B se muestra a continuación:

Load combination	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)	Displacements (global)		
							X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-81	2348	-249	135	-46	35	0.000	0.000	0.000
Sustained	-143	3117	-304	172	-94	57	0.000	0.000	0.000
Operating1	-92	3114	-210	172	-98	3	0.000	0.000	0.000
Sustained+Wind	298	3388	-36	180	141	-128	0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	349	3386	57	180	137	-182	0.000	0.000	0.000
Maximum	349	3388	57	180	141	57	0.000	0.000	0.000
Minimum	-143	2348	-304	135	-98	-182	0.000	0.000	0.000
Allowables	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000

Imagen 297: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO y la tobera de succión de la bomba P-101B

Para conseguir reducir las fuerzas sobre las toberas anteriores, se han creado unos apoyos mediante Limit stop en los nodos 75 y 120. Estos soportes serán muy interesantes porque gracias a ellos se descargan las toberas y se van a construir sobre una pequeña base de hormigo.

Los resultados del patín (nodo 75) que soporta las fuerzas que llegan a la bomba P-101A son:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-9481		0.000	0.000	0.000
Sustained	-12318		0.000	0.000	0.000
Operating1	-12101		0.000	0.000	-0.006
Sustained+Wind	-12696		0.003	0.000	0.000
Operating1+Wind	-12479		0.003	0.000	-0.006
Maximum	-9481		0.003	0.000	0.000
Minimum	-12696		0.000	0.000	-0.006

Imagen 298: valores del soporte previo a bomba P-101A

Los resultados del patín (nodo 120) que soporta las fuerzas que llegan a la bomba P-101B son:

Load combination	Load (N)	Friction (N)	Displacements (global)		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Empty Weight	-9467		0.000	0.000	0.000
Sustained	-12303		0.000	0.000	0.000
Operating1	-12084		0.000	0.000	-0.006
Sustained+Wind	-12777		0.000	0.000	0.000
Operating1+Wind	-12558		0.000	0.000	-0.006
Maximum	-9467		0.000	0.000	0.000
Minimum	-12777		0.000	0.000	-0.006

Imagen 299: valores del soporte previo a bomba P-101B

14. Verificación bombas P-101A & P-101B

En este apartado se va a verificar que las bombas cumplan con la normativa API 610.

Para ello se han simulado las líneas que conectan las bombas para obtener los resultados de estas uniones

14.1. Simulación de las bombas

Para diseñar la bomba en CaePipe, es necesario conocer la disposición geométrica de sus toberas de succión y descarga. En este caso se muestran en el plano "Plano_EQUI_05" del dejo "Planos".

Ahora es necesario iniciar el programa y crear un nuevo modelo. En el modelo declararemos el material del que están hechas las toberas, en nuestro caso hemos elegido el mismo que para las tuberías.

Después introduciremos los diámetros de las toberas. Según nuestros modelos, la línea 7-C30-6" se conecta con un diámetro 6, mientras que los modelos 6-C30-10" ORIGINAL se conecta mediante un diámetro de 8" y la línea 6-C30-10" RESOLUTIVO se conecta mediante una tobera de diámetro 10". Así que declararemos los 3 diámetros.

#	Name	Nom Dia	Sch	OD (inch)	Thk (inch)
1	8	8"	STD	8.625	0.322
2	6	6"	STD	6.625	0.28
3	10	10"	5S	10.75	0.134

Imagen 300: valores de los diámetros introducidos

Ahora introduciremos las condiciones de carga, las bombas trabajarán a temperatura ambiente, con una presión de operación de 15 bares y una temperatura de diseño de 40°C y 20 bares. No se selecciona el viento, ya que no tiene superficie donde golpear y no se simulará.

Imagen 301: condiciones de carga para las bombas

El siguiente paso será crear las toberas en su posición. Para ello se coloca un primer anclaje que será nuestra tobera de succión. Sobre este anclaje situaremos una fuerza. Y daremos una longitud a la tobera.

Después crearemos otro anclaje que será nuestra tobera de descarga y lo separaremos de acuerdo con los datos geométricos de la bomba. Sobre este anclaje situaremos una fuerza que será la que ejerza la línea 7-C30-6" y daremos longitud a la tobera.

#	Node	Type	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = BOMBA P-101A caso 1								
2	Bomba Derecha, SUCCION 6-C30-10" ORIGINAL								
3	10	From							Anchor
4	10	Location							Force
5	20				600	A53	8	L1	
6	Bomba derecha, DESCARGA 7-C30-6"								
7	40	From	254	458.7	-306.3				Anchor
8	40	Location							Force
9	50			600		A53	6	L1	

Imagen 302: programación del modelo de la bomba

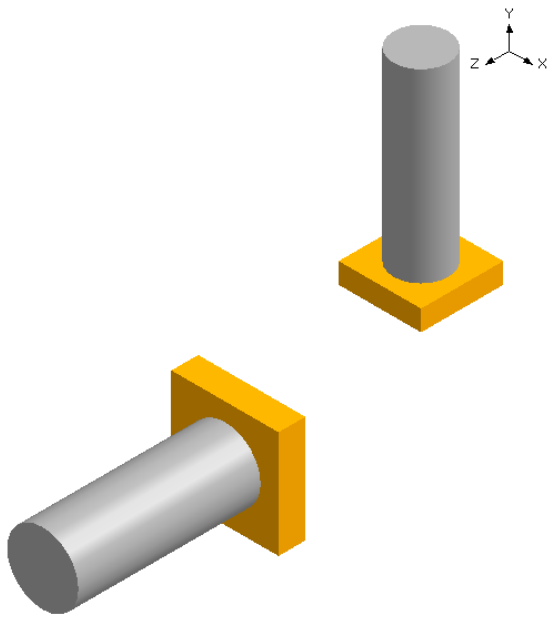


Imagen 303: representación en 3D del modelo bomba

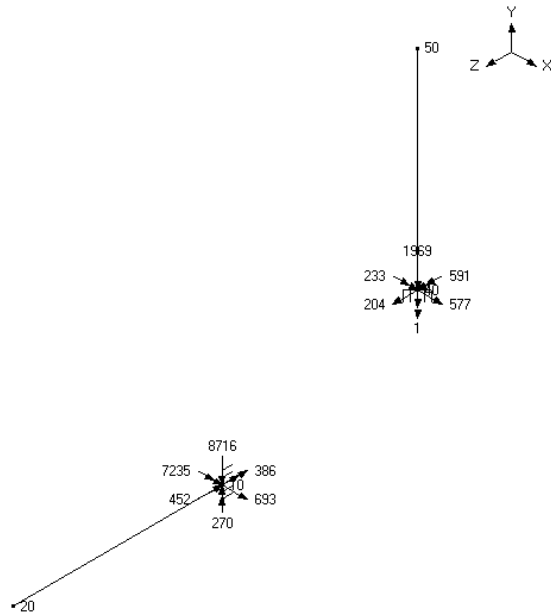


Imagen 304: representación a una línea con la posición de los nodos del modelo de la bomba de la

Ahora que ya tenemos creadas las dos toberas, vamos a indicarle al programa que queremos instalar una bomba en esa posición. Para ello pincharemos en Misc, "Pumps" y haremos doble clic en descripción. Ahora seleccionamos las toberas de nuestra bomba y el estudio al que queremos que se someta.

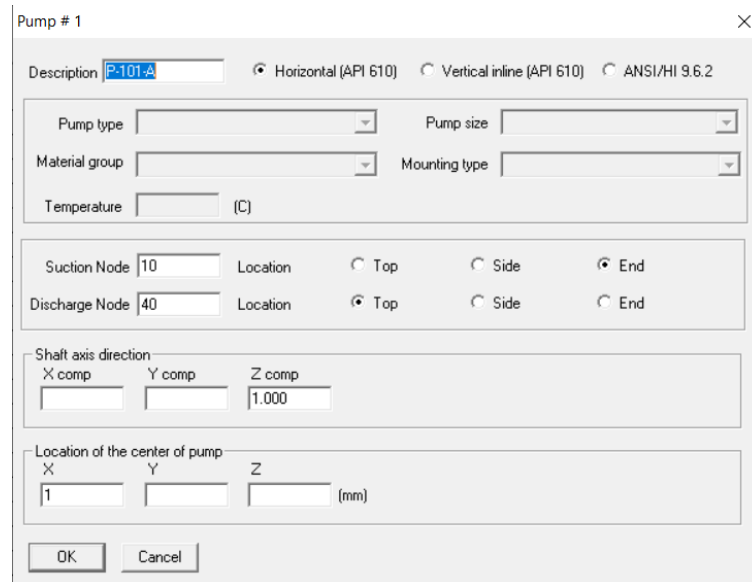


Imagen 305: selección de valores de la bomba

14.2. Caso A

El primer caso que se va a simular es tal y como aparece en los planos de partida. En estos planos la línea 6-C30-10" no tiene ningún soporte antes de la conexión con las bombas y por eso las carga en exceso.

La primera verificación que se va a realizar de los modelos 7-C30-6" y 6-C30-10" ORIGINAL.

Par este caso, los valores utilizados para la descarga de las bombas son los de la línea 7-C30-6" que se muestran en las imágenes 265, 266 y la tabla de a continuación. Mientras que para la succión los valores son los de la línea 6-C30-10" ORIGINAL como se muestran en las imágenes 288, 299 y en la siguiente tabla.

14.2.1. Bomba P-101-A

LINEAS 6-C30-10" ORIGINAL Y 7-C30-6"						
BOMBA P-101 A						
SUCCION LINEA 6-C30-10" ORIGINAL						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	693	-8716	-452	7235	270	-386
DESCARGA LINEA 7-C30-6"						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	577	-1969	204	233	-1	-591

Tabla 1: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 A

Estos valores los introducimos en las fuerzas diseñadas en el modelo de la bomba.

Force at node 10

FX	FY	FZ	(N)
693	-8716	-452	
MX	MY	MZ	(Nm)
7235	270	-386	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 306: fuerzas de la línea 6-C30-10" ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 A

Force at node 40

FX	FY	FZ	(N)
577	-1969	204	
MX	MY	MZ	(Nm)
233	-1	591	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 307: fuerzas de la línea 7-C30-6" en la tobera de descarga de P-101 A

Ahora que tenemos los datos introducidos, simularemos el modelo para obtener los resultados. Dentro de los resultados el único valor que nos interesa es la verificación del equipo rotativo.

API 610 (11th ed.), Sep 2010 / ISO 13709 report for pump : P-101-A				
Load case: Operating (W+P1+T1)				
Shaft axis: Xcomp = 0.000, Ycomp = 0.000, Zcomp = 1.000				
Center location: X = 1, Y = 0, Z = 0 (mm)				
Suction node: 10, Location: (End), Size: 8.000 (inch)				
Offsets from center: dx = 0, dy = -1, dz = 0 (mm)				
Check of condition F.1.1 for suction node 10:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	-452	4893	0.092	OK
FY (N)	693	3781	0.183	OK
FZ (N)	-9031	3114	2.900	Failed
FR (N)	9068	6939	1.307	----
MX (Nm)	-386	3525	0.109	OK
MY (Nm)	7329	1763	4.158	Failed
MZ (Nm)	270	2576	0.105	OK
MR (Nm)	7345	4745	1.548	----
Condition F.1.2.a for suction node 10 failed ****				
Discharge node: 40, Location: (Top), Size: 6.000 (inch)				
Offsets from center: dx = -306.3, dy = 253, dz = 458.7 (mm)				
Check of condition F.1.1 for discharge node 40:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	204	2491	0.082	OK
FY (N)	577	2046	0.282	OK
FZ (N)	-2163	3114	0.695	OK
FR (N)	2248	4493	0.500	OK
MX (Nm)	591	2305	0.256	OK
MY (Nm)	233	1180	0.198	OK
MZ (Nm)	-1	1763	0.001	OK
MR (Nm)	635	3132	0.203	OK
Condition F.1.1 for discharge node 40 passed				

Imagen 308: resultado de la bomba P-101 A caso 1

Según la normativa API-610, las bombas pueden llegar a superar la norma hasta en 1,8. En este informe nos indica que la tobera de descarga pasa la verificación sin llegar a la unidad. Mientras que la tobera de succión no pasa la prueba por la fuerza en dirección del eje de la bomba que ejerce la línea del modelo 6-C30-10" ORIGINAL, indicando que es necesario realizar un cambio.

14.2.2. Bomba P-101-B

LINEAS 6-C30-10" ORIGINAL Y 7-C30-6"						
BOMBA P-101 B						
SUCCION LINEA 6-C30-10" ORIGINAL						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	176	-11580	-504	7282	158	23
DESCARGA LINEA 7-C30-6"						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	50	-2199	318	375	5	66

Tabla 2: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 B.

Force at node 10

FX	FY	FZ	(N)
1176	-11580	-504	
MX	MY	MZ	(Nm)
7282	158	23	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 309: fuerzas de la línea 6-C30-10" ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 B

Force at node 40

FX	FY	FZ	(N)
50	-2199	318	
MX	MY	MZ	(Nm)
375	5	66	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 310: fuerzas de la línea 7-C30-6" en la tobera de descarga de P-101 B

Con todo definido y las fuerzas introducidas, procedemos a analizar el modelo y ver el resultado del equipo rotativo.

API 610 (11th ed.), Sep 2010 / ISO 13709 report for pump : P-101-B				
Load case: Operating (W+P1+T1)				
Shaft axis: Xcomp = 0.000, Ycomp = 0.000, Zcomp = 1.000				
Center location: X = 1, Y = 0, Z = 0 (mm)				
Suction node: 10, Location: (End), Size: 8.000 (inch)				
Offsets from center: dx = 0, dy = -1, dz = 0 (mm)				
Check of condition F.1.1 for suction node 10:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	-504	4893	0.103	OK
FY (N)	176	3781	0.047	OK
FZ (N)	-11895	3114	3.820	Failed
FR (N)	11907	6939	1.716	----
MX (Nm)	23	3525	0.007	OK
MY (Nm)	7376	1763	4.185	Failed
MZ (Nm)	158	2576	0.061	OK
MR (Nm)	7378	4745	1.555	----
Condition F.1.2.a for suction node 10 failed ****				
Discharge node: 40, Location: (Top), Size: 6.000 (inch)				
Offsets from center: dx = -306.3, dy = 253, dz = 458.7 (mm)				
Check of condition F.1.1 for discharge node 40:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	318	2491	0.128	OK
FY (N)	50	2046	0.024	OK
FZ (N)	-2393	3114	0.769	OK
FR (N)	2415	4493	0.537	OK
MX (Nm)	66	2305	0.029	OK
MY (Nm)	375	1180	0.318	OK
MZ (Nm)	5	1763	0.003	OK
MR (Nm)	381	3132	0.122	OK
Condition F.1.1 for discharge node 40 passed				

Imagen 311: resultado de la verificación a la norma API-610

Este análisis nos confirma que el modelo de la línea 6-C30-10" ORIGINAL sobrecara la bomba por la tobera de succión llevando el modelo a superar 4 veces la norma API-610.

14.3. Caso B

Para la simulación de este caso y que se cumpla la normativa API-610, se han hecho mejoras en la línea 6-C30-10" añadiendo dos soportes entre el codo y la brida de conexión con la bomba.

Para este caso se van a simular las líneas 7-C30-6" donde no se ha realizado ningún cambio ya que cumple por debajo de la unidad. Y la línea 6-C30-10" RESOLUTIVA con la intención de solucionar el problema.

Para los valores de las bombas se han tomado los resultados de las imágenes 296 y 297 para succión y 265 y 266 para los valores de descarga.

14.3.1. Bomba P-101 A

LINEAS 6-C30-10" RESOLUTIVO Y 7-C30-6"						
BOMBA P-101 A						
SUCCION LINEA 6-C30-10" RESOLUTIVO						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	556	3479	96	183	301	-11
DESCARGA LINEA 7-C30-6"						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	577	-1969	204	233	-1	-591

Tabla 3: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 A

Force at node 10

FX	FY	FZ	(N)
556	3479	96	
MX	MY	MZ	(Nm)
183	301	-11	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 312: fuerzas de la línea 6-C30-10" ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 A

Force at node 40

FX	FY	FZ	(N)
577	-1969	204	
MX	MY	MZ	(Nm)
233	-1	591	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

imagen:313 fuerzas de la línea 7-C30-6" en la tobera de descarga de P-101 A

ahora con todos los valores introducidos procedemos al análisis. Como en el caso anterior, el único resultado que nos interesa es la verificación a la norma API-610

API 610 (11th ed.), Sep 2010 / ISO 13709 report for pump : P-101-A				
Load case: Operating (W+P1+T1)				
Shaft axis: Xcomp = 0.000, Ycomp = 0.000, Zcomp = 1.000				
Center location: X = 1, Y = 0, Z = 0 (mm)				
Suction node: 10, Location: (End), Size: 10.000 (inch)				
Offsets from center: dx = 0, dy = -1, dz = 0 (mm)				
Check of condition F.1.1 for suction node 10:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	96	6672	0.014	OK
FY (N)	556	5338	0.104	OK
FZ (N)	3108	4448	0.699	OK
FR (N)	3159	9786	0.323	OK
MX (Nm)	-11	5017	0.002	OK
MY (Nm)	294	2440	0.121	OK
MZ (Nm)	301	3796	0.079	OK
MR (Nm)	421	6779	0.062	OK
Condition F.1.1 for suction node 10 passed				
Discharge node: 40, Location: (Top), Size: 6.000 (inch)				
Offsets from center: dx = -306.3, dy = 253, dz = 458.7 (mm)				
Check of condition F.1.1 for discharge node 40:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	204	2491	0.082	OK
FY (N)	577	2046	0.282	OK
FZ (N)	-2163	3114	0.695	OK
FR (N)	2248	4493	0.500	OK
MX (Nm)	591	2305	0.256	OK
MY (Nm)	233	1180	0.198	OK
MZ (Nm)	-1	1763	0.001	OK
MR (Nm)	635	3132	0.203	OK
Condition F.1.1 for discharge node 40 passed				
Check of Condition F.1.2.c:				
	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FRC (N)	1505	21418	0.070	OK
MYC (Nm)	-42	7240	0.006	OK
MRC (Nm)	243	14867	0.016	OK
Condition F.1.2.c passed				

Imagen 314: resultado del equipo rotativo P-101 A conectado a los modelo 6-C30-10" RESOLUTIVO y 7-C30-6"

Cómo se puede ver en la imagen, la conexión de las líneas cumple la normativa API-610 holgadamente (límite en 1,8) gracias al soporte colocado. Ahora es necesario comprobar que la bomba P-101 B también cumpla con la normativa.

14.3.2. Bomba P-101 B

LINEAS 6-C30-10" ORIGINAL Y 7-C30-6"						
BOMBA P-101 B						
SUCCION LINEA 6-C30-10" RESOLUTIVO						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	349	3386	57	180	137	-182
DESCARGA LINEA 7-C30-6"						
	FX (N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
Operating+Wind	50	-2199	318	375	5	66

Tabla 4: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 B

Force at node 10

FX	FY	FZ	(N)
349	3386	57	
MX	MY	MZ	(Nm)
180	137	-182	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 315: fuerzas de la línea 6-C30-10" ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 B

Force at node 40

FX	FY	FZ	(N)
50	-2199	318	
MX	MY	MZ	(Nm)
375	5	66	

Add to W+P Add to T1

OK Cancel

Imagen 316: fuerzas de la línea 7-C30-6" en la tobera de descarga de P-101 A

Con todos los valores introducidos, procedemos al análisis del modelo.

API 610 (11th ed.), Sep 2010 / ISO 13709 report for pump : P-101-B

Load case: Operating (W+P1+T1)

Shaft axis: Xcomp = 0.000, Ycomp = 0.000, Zcomp = 1.000

Center location: X = 1, Y = 0, Z = 0 (mm)

Suction node: 10, Location: (End), Size: 10.000 (inch)

Offsets from center: dx = 0, dy = -1, dz = 0 (mm)

Check of condition F.1.1 for suction node 10:

	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	57	6672	0.009	OK
FY (N)	349	5338	0.065	OK
FZ (N)	3015	4448	0.678	OK
FR (N)	3036	9786	0.310	OK
MX (Nm)	-182	5017	0.036	OK
MY (Nm)	291	2440	0.119	OK
MZ (Nm)	137	3796	0.036	OK
MR (Nm)	370	6779	0.055	OK

Condition F.1.1 for suction node 10 passed

Discharge node: 40, Location: (Top), Size: 6.000 (inch)

Offsets from center: dx = -306.3, dy = 253, dz = 458.7 (mm)

Check of condition F.1.1 for discharge node 40:

	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FX (N)	318	2491	0.128	OK
FY (N)	50	2046	0.024	OK
FZ (N)	-2393	3114	0.769	OK
FR (N)	2415	4493	0.537	OK
MX (Nm)	66	2305	0.029	OK
MY (Nm)	375	1180	0.318	OK
MZ (Nm)	5	1763	0.003	OK
MR (Nm)	381	3132	0.122	OK

Condition F.1.1 for discharge node 40 passed

Check of Condition F.1.2.c:

	Calculated	Allowed	Ratio	Status
FRC (N)	828	21418	0.039	OK
MYC (Nm)	79	7240	0.011	OK
MRC (Nm)	747	14867	0.050	OK

Condition F.1.2.c passed

Imagen 317: resultado de P-101 B junto a los modelos 6-C30-10" RESOLUTIVO y 7-C30-6"

Como se puede apreciar en la imagen, el modelo cumple satisfactoriamente con la normativa API-610 estando muy lejos de la unidad en todo momento.



Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

5. Anejo: Cálculo estructural



5. Anejo "Cálculo estructural"

1.	Estructuras	5
1.1.	Cálculo de acciones.....	5
1.1.1.	Acciones permanentes	5
1.1.2.	Cálculo de acciones variables.....	8
1.1.3.	Acciones accidentales.....	20
1.1.4.	Área de influencia.....	21
1.2.	Hipótesis de calculo.....	24
1.2.1.	Combinación de acciones	24
1.2.2.	Acciones sobre los pórticos	27
1.2.3.	Combinación de acciones en viga transversal izquierda AB	30
1.2.4.	Combinación de acciones sobre viga transversal derecha CD	33
1.2.5.	Combinación de acciones sobre soporte corto W	36
1.2.6.	Combinación de acciones sobre soporte largo Ñ	40
2.	Viga Transversal AB	44
2.1.	Cálculos viga transversal AB en Estado limite Ultimo	45
2.1.1.	Reacciones plano YX.....	45
2.1.2.	Reacciones plano ZX.....	46
2.1.3.	Momentos en el plano YX	47
2.1.4.	Momentos en el plano ZX	48
2.1.5.	Resultados totales	48
2.1.6.	Diagramas de la viga transversal AB en ELU.....	49
2.1.7.	Dimensionamiento viga transversal AB.....	50
2.2.	Cálculos viga transversal AB en Estado Límite de Servicio.....	53
2.2.1.	Resultados totales	53
2.2.2.	Diagramas de la viga transversal AB en ELS	54
2.2.3.	Deformaciones en la viga transversal AB en ELS.....	55
3.	Viga transversal CD.....	57
3.1.	Cálculos viga transversal CD en Estado limite Ultimo	57
3.1.1.	Reacciones plano YX.....	57
3.1.2.	Reacciones plano ZX	58
3.1.3.	Momentos en el plano YX	59
3.1.4.	Momentos en el plano ZX	60
3.1.5.	Resultados totales	60
3.1.6.	Diagramas de la viga transversal CD en ELU.....	61



3.1.7.	Dimensionamiento viga transversal CD.....	62
3.2.	Cálculos viga transversal CD en Estado límite de Servicio	64
3.2.1.	Resultados totales	64
3.2.2.	Diagramas de la viga transversal CD en ELS.....	65
3.2.3.	Deformaciones en la viga transversal CD en ELS.....	66
4.	Pórtico.....	68
4.1.	Pórtico tipo Estado Limite Ultimo ELU.....	68
4.1.1.	Dimensionamiento dintel.....	71
4.2.	Pórtico estado límite de Servicio ELS.....	73
4.2.1.	Deformaciones en el dintel	75
5.	Pilar HI.....	76
5.1.	Diagrama momentos y reacciones pilar HI.....	76
5.2.	Verificación del pilar HI	77
5.2.1.	Comprobación de sección	77
5.2.2.	Comprobación a pandeo	78
5.2.3.	Interacción de esfuerzos en piezas	79
5.2.4.	Verificación de Von Mises	80
6.	Pilar MN	81
6.1.	Diagramas de reacciones y momentos en el pilar MN.....	82
6.2.	Verificación del pilar MN.....	82
6.2.1.	Comprobación de sección	82
6.2.2.	Comprobación a pandeo	84
6.2.3.	Interacción de esfuerzos en piezas	84
6.2.4.	Verificación de Von Mises	85
7.	Pilar UV	86
7.1.	Diagrama momentos y reacciones pilar UV	86
7.2.	Verificación del pilar UV.....	87
7.2.1.	Comprobación de sección	87
7.2.2.	Comprobación a pandeo	88
7.2.3.	Interacción de esfuerzos en piezas	88
7.2.4.	Verificación de Von Mises	89
8.	Soporte corto W	90
8.1.	Cálculos analíticos del Soporte corto W en ELU	90
8.1.1.	Resultados soporte corto W en ELU.....	91
8.1.2.	Diagrama reacciones soporte corto W en ELU	91
8.1.3.	Verificación a sección	92



8.1.4.	Verificación a interacción de esfuerzos en piezas	92
8.1.5.	Comprobación a Von Mises.....	94
8.2.	Cálculos soporte corto W en ELS.....	94
8.2.1.	Verificación a Deformación	95
9.	Soporte Largo Ñ	96
9.1.	Cálculos analíticos soporte largo Ñ en ELU.....	96
9.1.1.	Resultados soporte Largo Ñ ELU	97
9.1.2.	Diagrama reacciones soporte Largo Ñ ELU	98
9.1.3.	Verificación a sección	98
9.1.4.	Verificación a interacción de esfuerzos en piezas	99
9.1.5.	Comprobación a Von Mises.....	100
9.2.	Cálculos analíticos soporte Largo Ñ en ELS.....	101
9.2.1.	Verificación a Deformación	102
10.	Trunnions	103
10.1.	Pandeo	103
10.1.1.	Trunnion de Ø100mm x 3mm para líneas de 4"	103
10.1.2.	Trunnion de Ø150mm x 4mm para líneas de 6".....	104
11.	Placas de anclaje.....	106
11.1.	Placa de anclaje de los pilares del rack.....	106
11.2.	Placa de anclaje del soporte corto W	110
11.3.	Placa de anclaje del largo Ñ.....	114
12.	Cálculos digitales de los elementos estructurales.....	118
12.1.	Viga Transversal AB	118
12.1.1.	Resultados viga transversal AB	121
12.1.2.	Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB.....	121
12.2.	Viga transversal CD.....	126
12.2.1.	Resultados viga transversal CD	128
12.2.2.	Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB.....	129
12.3.	Pórtico.....	134
12.3.1.	Resultados pórtico.....	135
12.4.	Soporte Corto W	141
12.4.1.	Resultados del soporte Corto W	143
12.4.2.	Representación gráfica de los resultados del soporte Corto W.....	144
12.5.	Soporte Largo Ñ	148
12.5.1.	Resultados del soporte Largo Ñ	150
12.5.2.	Representación gráfica de los resultados del soporte Largo Ñ.....	151



12.6.	Estructura Rack completa.....	155
12.6.1.	Resultados estructura Rack completa	157

1. Estructuras

En este apartado se van a recoger todos los datos y cálculos necesarios para el dimensionamiento y verificación de las estructuras metálicas que forman parte de la unidad.

Primero se van a calcular las acciones que intervienen en cada estructura

Después se van a unir las diferentes acciones en el cálculo de hipótesis de carga

Ya con todos los datos se va a realizar el análisis analítico en estado límite último para calcular las tensiones máximas y en estado límite de servicio para calcular las deformaciones máximas.

Se van a realizar los cálculos mediante superposición de esfuerzos.

Se comprobará y complementará con el análisis digital mediante inventor.

1.1. Cálculo de acciones

1.1.1. Acciones permanentes

Las acciones permanentes son aquellas que están siempre presentes.

1.1.1.1. Peso propio

1.1.1.1.1. Peso propio pórtico

Para hacer un cálculo más preciso, es necesario añadir el peso propio del elemento. En este caso, el peso del dintel donde se situarán las fuerzas.

El pórtico se fabrica completamente en perfil HEB 220, con los valores que se ven a continuación:

HEB 220	
$h = 220 \text{ mm}$	$r = 18 \text{ mm}$
$b = 220 \text{ mm}$	$d = 152.0 \text{ mm}$
$t_w = 9.5 \text{ mm}$	$h_i = 188.0 \text{ mm}$
$t_f = 16.0 \text{ mm}$	
$A = 91.0 \text{ cm}^2$	$M = 71.5 \text{ kg/m}$
$I_y = 8091 \text{ cm}^4$	$I_z = 2843 \text{ cm}^4$
$W_y = 735.6 \text{ cm}^3$	$W_z = 258.5 \text{ cm}^3$
$W_{ply} = 827.1 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 393.9 \text{ cm}^3$
$i_y = 9.43 \text{ cm}$	$i_z = 5.59 \text{ cm}$
$I_t = 77.0 \text{ cm}^4$	$I_w = 295814 \text{ cm}^6$
$S_y = 413.5 \text{ cm}^3$	$A_{vz} = 27.93 \text{ cm}^2$
$s_y = 19.6 \text{ cm}$	
$AL = 1.270 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 17.77 \text{ m}^2/\text{t}$

Imagen 1: datos geométricos y físicos HEB 220

Tamaño	Peso específico (Kg/m)	Metros viga (m)	Peso total (kg)	Carga (N)	Carga (N/m)
HEB 220	71,5	4,877	348,7	3417,3	700,7

Tabla 1: valor del peso propio del dintel

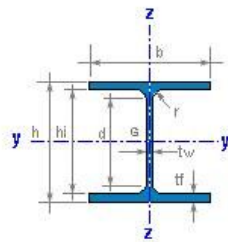
$$G_{1dintel} = 700 \text{ N/m}$$

1.1.1.1.2. Peso propio vigas transversales

Para unos cálculos más precisos, es necesario tener en cuenta le peso propio de las vigas transversales AB y CD.

Estos tramos se construirán en acero S-275 y con un perfil HEB-140 con los valores geométricos y físicos que se muestran a continuación:

HEA 140



h = 133 mm	r = 12 mm
b = 140 mm	d = 92.0 mm
tw = 5.5 mm	hi = 116.0 mm
tf = 8.5 mm	

A = 31.4 cm ²	M = 24.7 kg/m
--------------------------	---------------

I _y = 1033 cm ⁴	I _z = 389 cm ⁴
W _y = 155.4 cm ³	W _z = 55.6 cm ³
W _{ply} = 173.5 cm ³	W _{plz} = 84.8 cm ³
i _y = 5.73 cm	i _z = 3.52 cm
I _t = 8.1 cm ⁴	I _w = 15086 cm ⁶

S _y = 86.8 cm ³	Av _z = 10.13 cm ²
s _y = 11.9 cm	

AL = 0.794 m ² /m	AG = 32.21 m ² /t
------------------------------	------------------------------

Imagen 2: datos geométricos y físicos HEB 140

Tamaño	Peso específico (Kg/m)	Metros viga (m)	Peso total (kg)	Carga (N)	Carga (N/m)
HEB 140	33,7	6,1	205,6	2014,6	330,3

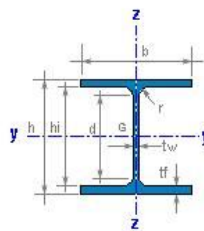
Tabla 2: valor del peso propio de cada viga transversal

$$G_1 \text{ viga transversal} = 330,3 \text{ N/m}$$

1.1.1.1.3. Peso propio soporte corto W

Sobre este apoyo solo descansan dos líneas. Por lo que el perfil será mucho más pequeño que el soporte largo Ñ . Se van a fabricar el pilar y el soporte en acero S-275 y perfil HEB 160.

HEB 160



h = 160 mm	r = 15 mm
b = 160 mm	d = 104.0 mm
tw = 8.0 mm	hi = 134.0 mm
tf = 13.0 mm	

A = 54.3 cm ²	M = 42.6 kg/m
--------------------------	---------------

I _y = 2492 cm ⁴	I _z = 889 cm ⁴
W _y = 311.5 cm ³	W _z = 111.2 cm ³
W _{ply} = 354.0 cm ³	W _{plz} = 170.0 cm ³
i _y = 6.78 cm	i _z = 4.05 cm
I _t = 31.3 cm ⁴	I _w = 48039 cm ⁶

S _y = 177.0 cm ³	Av _z = 17.60 cm ²
s _y = 14.1 cm	

AL = 0.918 m ² /m	AG = 21.56 m ² /t
------------------------------	------------------------------

Imagen 3: datos geométricos y físicos HEB 160

Tamaño	Peso específico (Kg/m)	Metros viga (m)	Peso total (kg)	Carga (N)	Carga (N/m)
HEB 160	42,6	0,762	32,5	318,1	417

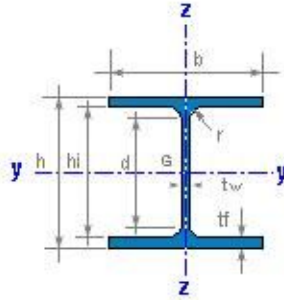
Tabla 3: valor del peso propio del soporte corto W

$$G_1 \text{ soporte corto W} = 417 \text{ N/m}$$

1.1.1.1.4. Peso propio soporte largo Ñ

Este apoyo sostiene 4 tuberías. Se va a fabricar el pilar y el soporte en acero S-275 y perfil HEM-240.

HEM 240



$h = 270 \text{ mm}$	$r = 21 \text{ mm}$
$b = 248 \text{ mm}$	$d = 164.0 \text{ mm}$
$tw = 18.0 \text{ mm}$	$hi = 206.0 \text{ mm}$
$tf = 32.0 \text{ mm}$	

$A = 199.6 \text{ cm}^2$	$M = 156.7 \text{ kg/m}$
--------------------------	--------------------------

$I_y = 24290 \text{ cm}^4$	$I_z = 8153 \text{ cm}^4$
$W_y = 1799.3 \text{ cm}^3$	$W_z = 657.5 \text{ cm}^3$
$W_{ply} = 2117.0 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 1005.9 \text{ cm}^3$
$i_y = 11.03 \text{ cm}$	$i_z = 6.39 \text{ cm}$
$I_t = 626.0 \text{ cm}^4$	$I_w = 1154494 \text{ cm}^6$

$S_y = 1058.5 \text{ cm}^3$	$Avz = 60.07 \text{ cm}^2$
$s_y = 22.9 \text{ cm}$	

$AL = 1.460 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 9.32 \text{ m}^2/\text{t}$
-----------------------------------	----------------------------------

Imagen 4: datos geométricos y físicos HEM-240

Tamaño	Peso específico (Kg/m)	Metros viga (m)	Peso total (kg)	Carga (N)	Carga (N/m)
HEM-240	156,7	1,524	238,8	2340,3	1535,7

Tabla 4: valor del peso propio del soporte largo Ñ

$$G_1 \text{ soporte largo } \tilde{N} = 1535,7 \text{ N/m}$$



1.1.2. Cálculo de acciones variables

Las acciones variables son aquellas que no siempre están presentes. En este apartado, estudiaremos cargas puntuales y repartidas.

1.1.2.1. Peso de las tuberías

1.1.2.1.1. Peso de las tuberías sobre los pórticos

El peso de las tuberías se ha considerado como variable, dado que no siempre estarán igual de llenas y serán diferentes las cargas que transmiten.

Para poder dimensionar correctamente el Rack es necesario conocer el peso de las tuberías que va a soportar. En nuestro caso en el Rack se apoyan 13 tuberías que van desde 2" hasta 14".

Como por las tuberías circulan diferentes fluidos (normalmente con una densidad menor a la del agua), y no siempre trabajan llenas. Se va a calcular el peso de las tuberías que atraviesan el Rack, como si estuviesen completamente llenas de agua, de esta forma estaremos siempre del lado de la seguridad.

Diámetro	Peso tubería		Área de influencia (m)	Fuerza sobre el pórtico		
	Vacía (kg/m)	Llena de agua (kg/m)		Vacía (N)	Peso fluido (N)	Llena de agua (N)
14"	81,33	170,23	6,1	4861,9	5314,4	10176,3
3"	11,29	16,05	6,1	674,9	284,6	959,5
3"	11,29	16,05	6,1	674,9	284,6	959,5
2"	5,44	7,6	6,1	325,2	129,1	454,3
2"	5,44	7,6	6,1	325,2	129,1	454,3
10"	60,29	111,11	6,1	3604,1	3038,0	6642,2
10"	60,29	111,11	6,1	3604,1	3038,0	6642,2
10"	60,29	111,11	6,1	3604,1	3038,0	6642,2
10"	60,29	111,11	6,1	3604,1	3038,0	6642,2
8"	42,55	74,81	6,1	2543,6	1928,5	4472,1
8"	42,55	74,81	6,1	2543,6	1928,5	4472,1
4"	16,08	24,28	6,1	961,3	490,2	1451,5
8"	42,55	74,81	6,1	2543,6	1928,5	4472,1

Tabla 5: pesos individuales de las tuberías llenas y vacías

	Vacía (N)	Peso fluido (N)	Llena de agua (N)
Σ (fuerzas puntuales)	29871	24570	54440
Carga distribuida	6124,8 N/m	5037,8 N/m	11.162,7 N/m

Tabla 6: valor de la carga de las tuberías

$$Q_{1d} = 11.163 \text{ N/m}$$



1.1.2.1.2. Peso de las tuberías sobre las vigas transversales

La acción del peso de las tuberías que apoyan sobre las vigas transversales se ha calculado en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". De este análisis obtenemos 4 modos de carga. El caso de carga más desfavorable será el de "Operación más viento".

1.1.2.1.2.1. Viga transversal izquierda AB

Para calcular el peso que tienen las tuberías sobre la viga transversal AB, se han simulado las 3 líneas que apoyan sobre este portante para calcular los esfuerzos que transmiten las líneas a la estructura. Tras el análisis, los resultados obtenidos por CaePipe para los diferentes casos de carga se pueden consultar en los apartados "12.2.", "11.2.2." y "10.2.2." del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y también se muestran recogidos a continuación:

Línea	Nodo	Peso vacía		Sustentada		Operación 1		Sustentada + Viento		Operación + Viento		Carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	
7-C30-6	75	-1137	0	-1807	0	-3182	0	-1807	0	-3182	0	P1
15-A15-6	80	-1802	0	-2873	0	-2633	790	-2969	29	-2729	819	P2
14-A15-6	70	-1832	0	-2920	0	-3031	909	-2405	154	-2516	1064	P3

Tabla 7: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el portante izquierdo

Comprobando los resultados de la tabla anterior, se puede verificar como el caso de cargas más desfavorable es el de "Operación + Viento".

$$P_{1AB} = \begin{cases} F_y = -3182 \text{ N} \\ F_z = 0 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{2AB} = \begin{cases} F_y = -2729 \text{ N} \\ F_z = 819 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{3AB} = \begin{cases} F_y = -2516 \text{ N} \\ F_z = 1064 \text{ N} \end{cases}$$



1.1.2.1.2.2. Viga transversal derecha CD

Para el cálculo del peso de las tuberías que apoyan sobre la viga transversal CD se han calculado las 5 líneas que intervienen con este portante. Estas cinco líneas se han simulado y analizado en CaePipe (anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe") y los resultados obtenidos son los siguientes:

Línea	Nodo	Peso vacía		Sustentada		Operación 1		Sustentada + Viento		Operación + Viento		Carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	
7-C30-4	125	-211	0	-512	0	-511	0	-512	0	-511	0	P4
1-C30-8	55	-1855	0	-3137	0	-4243	1273	-3722	176	-4828	1449	P5
9-C30-4	155	-4339	0	-4874	0	-4787	0	-4874	0	-4787	0	P6
11-A15-6	170	-1054	0	-1840	0	-2607	782	-1840	0	-2607	782	P7
10-A15-6	90	-1233	0	-2018	0	-2240	672	-1801	65	-2024	737	P8

Tabla 8: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el portante derecho

Como se puede apreciar, en conjunto, los datos más desfavorables se dan en el momento de cargas de "Operación + Viento".

$$P_{4CD} = \begin{cases} F_y = -511 \text{ N} \\ F_z = 0 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{5CD} = \begin{cases} F_y = -4828 \text{ N} \\ F_z = 1449 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{6CD} = \begin{cases} F_y = -4787 \text{ N} \\ F_z = 0 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{7CD} = \begin{cases} F_y = -2607 \text{ N} \\ F_z = 782 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{8CD} = \begin{cases} F_y = -2024 \text{ N} \\ F_z = 737 \text{ N} \end{cases}$$



1.1.2.1.3. Peso de las tuberías sobre los soportes

Para calcular el comportamiento de las líneas sobre los soportes, como en los casos anteriores, se han simulado las líneas que sostienen para ver que cargas se transmiten.

1.1.2.1.3.1. Soporte corto W

Para este soporte corto se han simulado las dos líneas que sujetaba que también tienen influencia en la viga transversal CD. Los análisis realizados por CaePipe junto con sus resultados, se pueden comprobar en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y en la tabla siguiente:

Línea	Nodo	Peso vacía		Sustentada		Operación 1		Sustentada + Viento		Operación + Viento		Carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	
11-A15-6	160	-2536	0	-3541	0	-1422	426	-3948	122	-1829	549	P9
10-A15-6	80	-1745	0	-2697	0	-2311	0	-2269	128	-1883	128	P10

Tabla 9: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el soporte corto W

Como en los casos anteriores, el momento de cargas más desfavorable, es de "Operación + Viento", ya que es el caso en el que se añaden las tensiones térmicas y la presión de operación.

$$P_{9W} = \begin{cases} F_y = -1829 \text{ N} \\ F_z = 549 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{10W} = \begin{cases} F_y = -1883 \text{ N} \\ F_z = 128 \text{ N} \end{cases}$$



1.1.2.1.3.2. Soporte largo Ñ

Como para el resto de los casos, para calcular como transmiten los esfuerzos las tuberías al soporte, se han simulado las 4 tuberías que aguanta el soporte en CaePipe y los resultados se pueden encontrar en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" apartados "11.2.2.", "6.2.2.", "10.2.2." y "5.2.2."

Línea	Nodo	Peso vacía		Sustentada		Operación 1		Sustentada + Viento		Operación + Viento		Carga
		Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	Carga (N)	Fricción (N)	
15-A15-6	70	-2210	0	-3522	0	-4653	0	-2873	195	-4004	195	P11
5-C30-8	60	-2142	0	-3604	0	-2162	649	-3648	13	-2206	662	P12
14-A15-6	60	-2023	0	-3225	0	-2612	784	-3225	0	-2612	784	P13
4-C30-10	50	-4463	0	-7823	0	-8549	2565	-8093	81	-8818	2645	P14

Tabla 10: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el soporte largo Ñ

El caso de cargas más desfavorables que encontramos en la simulación, como en el resto de los casos es en "Operación + Viento".

$$P_{11 \tilde{N}} = \begin{cases} F_y = -4004 \text{ N} \\ F_z = 195 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{12 \tilde{N}} = \begin{cases} F_y = -2206 \text{ N} \\ F_z = 662 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{13 \tilde{N}} = \begin{cases} F_y = -2612 \text{ N} \\ F_z = 784 \text{ N} \end{cases}$$

$$P_{14 \tilde{N}} = \begin{cases} F_y = -8818 \text{ N} \\ F_z = 2645 \text{ N} \end{cases}$$

1.1.2.2. Sobrecarga de uso

Para este apartado, se ha considerado, que la única sobrecarga por uso que puede haber es la de un par de operarios realizando actividades de mantenimiento.

Por lo que, según el código técnico, SE-AE, tabla 3.1., se considera una categoría de uso G, cubiertas accesibles únicamente para conservación, cubiertas con inclinación inferior a 20°, Carga uniforme 1kN/m².

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso					
Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ^{(4),(6)}	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

imagen 5: tabla 3.1 DB SE-AE con los valores de sobrecarga de uso

Categoría de uso			Carga uniforme	Perfil	Base viga	Carga repartida
			kN/m ²	HEB	m	N/m
G	Cubiertas accesibles para mantenimiento	Inclinación menor a 20°	1	220	0,22	220
			1	140	0,14	140
			1	100	0,1	100
			1	160	0,16	160

Tabla 11: valores de la sobrecarga de uso

$$Q_2 \text{ mantenimiento dintel} = 220 \text{ N/m}$$

$$Q_2 \text{ mantenimiento viga transversal} = 140 \text{ N/m}$$

$$Q_2 \text{ soporte corto } w = 100 \text{ N/m}$$

$$Q_2 \text{ soporte largo } \tilde{N} = 160 \text{ N/m}$$



1.1.2.3. Nieve

Para el cálculo de la carga por nieve, recurrimos al apartado 3.5 del DB-SE-AE.

Para el cálculo de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal q_n , se puede tomar la siguiente formula:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

μ → coeficiente de forma de la cubierta segun 3.5.3

Para una "cubierta" horizontal:

$$\mu = 1$$

s_k → valor característico de carga de nieve segun 3.5.2

Este valor, en la ciudad de Bilbao/Bilbo, es de:

$$s_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

Multiplicando estos valores, obtenemos el valor de la carga de nieve

$$q_n = 1 \cdot 0,3 \text{ kN/m}^2 = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

$$q_n = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

1.1.2.3.1. Nieve sobre los pórticos

Para hallar la carga repartida sobre el dintel, es necesario multiplicar por toda el área susceptible a acumular nieve por el valor de la nieve, y dividirlo por el valor del dintel, para repartir esta carga a su largo.

El área de influencia se calcula en el apartado 1.4. de este documento.

$$Carga_{nieve} = \frac{q_n (\text{kN/m}^2) \cdot A_{influencia} (\text{m}^2)}{L_{dintel} (\text{m})} = \text{kN/m}$$

$$Carga_{nieve} = \frac{0,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 14,81 \text{ m}^2}{4,877 \text{ m}} = 0,911 \text{ kN/m}$$

$$Q_3 \text{ Dintel} = 911 \text{ N/m}$$



1.1.2.3.2. Nieve sobre las vigas transversales

El cálculo del área de influencia para las vigas transversales se ha calculado en el punto 1.4.2. de este documento.

1.1.2.3.2.1. Viga transversal izquierda AB

$$Carga_{nieve} = \frac{q_n (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{viga transversal AB} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{nieve} = \frac{0,3 (kN/m^2) \cdot 3,316 (m^2)}{6,1(m)} = 0,163 kN/m = 163 N/m$$

$$Q_3 viga transversal AB = 163 N/m$$

1.1.2.3.2.2. Viga transversal derecha CD

$$Carga_{nieve} = \frac{q_n (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{viga transversal CD} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{nieve} = \frac{0,3 (kN/m^2) \cdot 3,536 (m^2)}{6,1(m)} = 0,174 kN/m = 174 N/m$$

$$Q_3 viga transversal CD = 174 N/m$$

1.1.2.3.3. Nieve sobre soportes

El área de influencia para los soportes se ha calculado en el apartado 1.4.3. de este mismo documento.

1.1.2.3.3.1. Nieve sobre soporte corto W

$$Carga_{nieve} = \frac{q_n (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{soporte corto W} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{nieve} = \frac{0,3 (kN/m^2) \cdot 1,745 (m^2)}{0,762(m)} = 0,687 kN/m = 687 N/m$$

$$Q_{3soporte corto W} = 687 N/m$$

1.1.2.3.3.2. Nieve sobre soporte largo Ñ

$$Carga_{nieve} = \frac{q_n (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{soporte largo Ñ} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{nieve} = \frac{0,3 (kN/m^2) \cdot 2,331(m^2)}{1,524(m)} = 0,459 kN/m = 459 N/m$$

$$Q_{3soporte largo Ñ} = 459 N/m$$

1.1.2.4. Viento

Para calcular este apartado, es muy importante conocer donde se encuentra la construcción y su altura sobre el nivel del mar. En este caso, la construcción se encuentra el Bilbao a 3 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Para calcular la presión estática del viento, se utiliza la fórmula 3.1 del DB SE-AE 3.3.2.

$$\text{Presión estática} \rightarrow q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

q_b → presión dinámica del viento

c_e → coeficiente de exposición

c_p → coeficiente eólico

1.1.2.4.1. Presión dinámica del viento

La presión dinámica del viento se pueden tomar unos valores tipo dependiendo de la zona donde se encuentre la construcción, o se puede calcular mediante la siguiente fórmula. En este proyecto se calculará de ambas formas cogiendo el valor más desfavorable (el mayor).

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Según Anejo D.1 punto 3. DB SE-AE se puede adoptar como valor para la densidad del aire de $1,25 \text{ kg/m}^3$ y en emplazamiento cercano al mar, donde es muy probable la acción de rocío, se llegar hasta de $1,30 \text{ kg/m}^3$

$$\delta = \text{densidad del aire} = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para calcular la velocidad del viento es necesario visitar la Figura D.1 del DB-SE-AE.



Imagen 6: Figura D.1 valor básico de la velocidad del viento V_b en España

$$V_b = \text{velocidad básica del viento en } m/s = \text{Zona C} = 29 m/s$$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,3 \frac{kg}{m^3} \cdot (29 m/s)^2 = 546,65 N/m^2 = 0,546 kN/m^2$$

Valores tipificados para la presión dinámica del viento según la zona en la que nos encontremos:

Zona	q_b (kN/m ²)
A	0,42
B	0,45
C	0,52

Tabla 12: valores tipificados presión dinámica del viento

$$q_b \text{ calculada} = 0,546 > q_b \text{ tipificada} = 0,52$$

$$q_b = 0,546 kN/m^2$$

1.1.2.4.2. Coeficiente de exposición

Su valor se puede tomar de la tabla 3.4 del DB SE-AE. El punto de estudio para nuestro caso será la altura a la que se sitúa el dintel; 3,658 metros

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Imagen 7: tabla 3.4 DB-SE-AE valores coeficiente de exposición

		c_e
a 3 metros	Grado I	2,4
a 6 metros	Grado I	2,7
a 3,658 metros	Grado I	2,4658

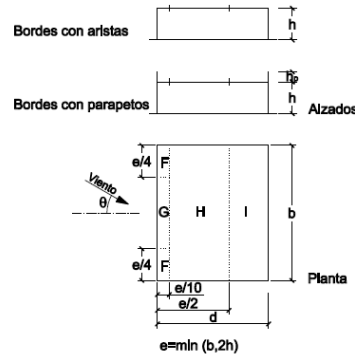
Tabla 13: valores de coeficiente de exposición

$$c_e = 2,466$$

1.1.2.4.3. Coeficiente eólico

Para el cálculo de este valor, debido a la morfología de la construcción, es difícil encontrar una semejanza en el documento básico acciones de la edificación. Pero lo trataremos como una cubierta plana de bordes con aristas. Y tomaremos los datos de la tabla D.4 del DB-SE-AE

Tabla D.4 Cubiertas planas



h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		F	G	H	I	
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2	
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2	
0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2	
	≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2	
Con parapetos	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	-0,2	
0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2	
	≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2	

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Imagen 8: tabla D.4 del DB-SE-AE

Nuestra estructura se puede considerar con parapetos, para saber en qué fila obtener los valores:

$$h_p/h = 610\text{mm}/3048\text{mm} = 0,2$$

El área de influencia se estudiará en el siguiente apartado, dando un resultado de 14,86 m².

Por lo que se tendrá en cuenta la última fila de valores, bordes con parapeto, A \geq 10m².

Ya que no tiene un área constante, sino que dependiendo del diámetro de las tuberías que soporte, tendrá un área de influencia u otra. Se va a considerar un valor fijo para toda la superficie

$$c_p = -0,8 \rightarrow \text{Succion}$$

1.1.2.4.4. Resultado viento

Presión estática $\rightarrow q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$

$$q_b = 0,546 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e = 2,466$$

$$c_p = -0,8 \rightarrow \text{Succion}$$

$$q_e = 0,546 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,466 \cdot (-1,2) = -1,616 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Succión}$$

$$q_e = -1,08 \text{ kN/m}^2$$



1.1.2.4.4.1. Resultado viento dintel

El área de influencia se calcula en el apartado 1.1.4. de este documento.

$$Carga_{viento} = \frac{q_e (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{dintel} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{viento} = \frac{-1,08 kN/m^2 \cdot 14,81 m^2}{4,877 m} = -3,275 kN/m$$

$$Q_4 dintel = -3.275 N/m$$

1.1.2.4.4.2. Resultado viento viga transversal izquierda AB

$$Carga_{viento} = \frac{q_e (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{viga transversal AB} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{viento} = \frac{-1,08 (kN/m^2) \cdot 3,316 (m^2)}{6,1 (m)} = -0,587 kN/m$$

$$Q_4 viga transversal AB = -586 N/m$$

1.1.2.4.4.3. Resultado viento viga transversal derecha CD

$$Carga_{viento} = \frac{q_e (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{viga transversal CD} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{viento} = \frac{-1,08 (kN/m^2) \cdot 3,536 (m^2)}{6,1 (m)} = -0,625 kN/m = -625,02 N/m$$

$$Q_4 viga transversal CD = -625 N/m$$

1.1.2.4.4.4. Resultado viento soporte corto W

$$Carga_{viento} = \frac{q_e (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{soporte corto W} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{viento} = \frac{-1,08 \left(\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 1,745 (m^2)}{0,762 (m)} = -2,47 kN/m = -2470 N/m$$

$$Q_4 soporte corto W = -2470 N/m$$

1.1.2.4.4.5. Resultado viento soporte largo Ñ

$$Carga_{viento} = \frac{q_e (kN/m^2) \cdot A_{influencia} (m^2)}{L_{soporte largo Ñ} (m)} = kN/m$$

$$Carga_{viento} = \frac{-1,08 \left(\frac{kN}{m^2}\right) \cdot 2,331 (m^2)}{1,524 (m)} = -1,65 N/m = -1650 N/m$$

$$Q_4 soporte largo Ñ = -1650 N/m$$

1.1.3. Acciones accidentales

1.1.3.1. Sismo

Según el apartado 4.1 del DB-SE-AE, las acciones sísmicas están reguladas en la sección NSCE.

Lo primero que hacemos en este documento es obtener la aceleración sísmica " a_b " y el coeficiente de distribución " K " de la ubicación de la planta. Este dato se encuentra en el Anejo 1 del documento NCSE-02.

	a_b/g	K
País Vasco	0,04	1

Tabla 14: valores de la aceleración sísmica y coeficiente de distribución de la ubicación de la planta

El siguiente paso, es clasificar el tipo de construcción. Según el apartado 1.2.2. de la norma NCSE-02, nuestra construcción se puede considerar de importancia normal según su definición:

"Importancia normal:

Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos."

En el apartado 1.2.3 criterios de aplicación de la norma, como se muestra a continuación, exime del estudio sísmico a las construcciones de importancia normal, con pórticos bien arriostrados, cuando la aceleración sísmica sea menor de 0,08 g.

1.2.3. Criterios de aplicación de la Norma.

La aplicación de esta Norma es obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1, excepto:

- En las construcciones de importancia moderada.
- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica a_b (art. 2.1) sea inferior a 0,08 g. No obstante, la Norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, a_c (art. 2.2) es igual o mayor de 0,08 g.

Si la aceleración sísmica básica es igual o mayor de 0,04 g deberán tenerse en cuenta los posibles efectos del sismo en terrenos potencialmente inestables.

En los casos en que sea de aplicación esta Norma no se utilizarán estructuras de mampostería en seco, de adobe o de tapial en las edificaciones de importancia normal o especial.

Si la aceleración sísmica básica es igual o mayor de 0,08 g e inferior a 0,12 g, las edificaciones de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, o similares, poseerán un máximo de cuatro alturas, y si dicha aceleración sísmica básica es igual o superior a 0,12 g, un máximo de dos.

En los edificios en que ha de aplicarse, esta Norma requiere:

- Calcular la construcción para la acción sísmica definida en el capítulo 2, mediante los procedimientos descritos en el capítulo 3.
- Cumplir las reglas de proyecto y las prescripciones constructivas indicadas en el capítulo 4.

Imagen 9: captura del NSCE-02 apartado 1.2.3. criterios de aplicación de la norma



1.1.4. Área de influencia

1.1.4.1. Área de influencia sobre pórticos

El cálculo del área de influencia se ha calculado con la proyección horizontal de las tuberías. Es decir, como prismas, donde la base es el diámetro de la tubería, y la altura, la longitud que soporta cada pórtico (6,1m). También se ha tenido en cuenta, las partes del dintel que no están bajo la proyección horizontal de las tuberías.

	Diámetro	Diámetro	Diámetro	longitud de influencia
LINEA	(pulgadas)	(mm)	(m)	(m)
27-C30-14"	14	355,6	0,3556	6,1
26-C30-3"	3	76,2	0,0762	6,1
25-A15-3"	3	76,2	0,0762	6,1
24-A15-2"	2	50,8	0,0508	6,1
23-A15-2"	2	50,8	0,0508	6,1
22-A15-10"	10	254	0,254	6,1
21-A15-10"	10	254	0,254	6,1
20-A15-10"	10	254	0,254	6,1
19-A15-10"	10	254	0,254	6,1
18-A15-8"	8	203,2	0,2032	6,1
17-A15-8"	8	203,2	0,2032	6,1
9-C30-4"	4	101,6	0,1016	6,1
1-C30-8"	8	203,2	0,2032	6,1
Σ (Diámetros)		2336,8	2,3368	6,1

Tabla 15: sumatorio de los diámetros de las tuberías sobre el Rack

$$\text{Área de influencia de las tuberías} = \Sigma \phi_{\text{tubería}}(m) \cdot L_{\text{influencia}}(m)$$

$$\text{Área de influencia de las tuberías} = 2,3368m \cdot 6,1m = \mathbf{14,25m^2}$$

$$\text{Área de influencia dintel} = (L_{\text{dintel}} - L_{\Sigma \phi_{\text{tubería}}}) \cdot b_{\text{dintel}}$$

$$\text{Área de influencia dintel} = (4,877m - 2,3368m) \cdot 0,22m = \mathbf{0,559m^2}$$

$$\text{Área de influencia total} = \text{Área influencia tuberías} + \text{Área influencia dintel}$$

$$\text{Área de influencia total} = 14,25m^2 + 0,559m^2 = \mathbf{14,81m^2}$$

$$\text{Área de influencia total} = \mathbf{14,81m^2}$$



1.1.4.2. Área de influencia sobre vigas transversales

El cálculo de este valor se realiza como la medición en proyección horizontal de las tuberías que soportan las vigas transversales. La longitud efectiva de carga será característica de cada tubería.

Estos valores servirán para poder calcular la carga de nieve que se puede acumular sobre las líneas e incrementar el peso sobre los soportes. También se utilizará para el cálculo del viento a succión desde arriba.

1.1.4.2.1. Área de influencia viga transversal izquierda AB

Sobre este portante se soportan 3 tuberías.

LINEA	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Longitud de influencia	Área influencia	Σ (Diámetros)	0,505
	(pulgadas)	(mm)	(m)				
7-C30-6"	6	168,3	0,168	1,1	0,185	Ancho de viga	0,140
15-A15-6"	6	168,3	0,168	3,4+3,8	1,212	Longitud	6,100
14-A15-6"	6	168,3	0,168	2,95+3,8	1,136	Área viga	0,783
Σ (Áreas tuberías)					2,533	Área total m²	3,316

Tabla 16: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre portante izquierdo AB

1.1.4.2.2. Área de influencia viga transversal derecha CD

Sobre esta viga transversal se apoyan 5 líneas.

LINEA	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Longitud de influencia	Área influencia	Σ (Diámetros)	0,711
	(pulgadas)	(mm)	(m)				
7-C30-4"	4	101,6	0,102	3,24	0,329	Ancho de viga	0,140
1-C30-8"	8	203,2	0,203	2,85	0,579	Longitud	6,100
9-C30-4"	4	101,6	0,102	2,27	0,231	Área viga	0,754
11-A15-6"	6	152,4	0,152	2,493+2,895	0,821		
10-A15-6"	6	152,4	0,152	1,985+2,895	0,821		
Σ (Áreas tuberías)					2,781	Área total m²	3,536

Tabla 17: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre portante derecho CD



1.1.4.3. Área de influencia sobre soportes

Como en el apartado anterior, se han calculado las áreas de influencia de las tuberías sobre los soportes como la proyección horizontal aproximada de las tuberías en su zona de carga.

1.1.4.3.1. Área de influencia de soporte corto W

Sobre este soporte se apoyan 2 tuberías que tienen un área de influencia total de 1,745 m².

LINEA	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Longitud de influencia	Área influencia	Σ (Diámetros)	0,305
	(pulgadas)	(mm)	(m)				
11-A15-6"	6	152,4	0,152	2,895+1,75	0,708	Ancho de viga	0,1
10-A15-6"	6	152,4	0,152	2,895+3,612	0,992	Longitud	0,762
				Σ (Áreas tuberías)	1,700	Área viga	0,046
						Área total m²	1,745

Tabla 18: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre el soporte corto

1.1.4.3.2. Área de influencia de soporte largo Ñ

Sobre este soporte descansan 4 tuberías que tienen un área de influencia total de 2,331 m².

LINEA	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Longitud de influencia	Área influencia	Σ (Diámetros)	0,762
	(pulgadas)	(mm)	(m)				
15-A15-6	6	152,4	0,152	3,8+1,7	0,838	ancho de viga	0,16
5-C30-8	8	203,2	0,203	1,47+1,1	0,522	longitud	1,524
14-A15-6	6	152,4	0,152	3,8+1,68	0,835	área viga	0,122
4-C30-10	10	254	0,254	3,9+1,51	1,374		
				Σ (Áreas tuberías)	2,209	Área total m²	2,331

Tabla 19: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre el soporte corto

1.2. Hipótesis de calculo

1.2.1. Combinación de acciones

Para ejecutar la combinación de acciones se va a utilizar la normativa de acero estructural EAE-12, la cual diferencia entre estados límite último y estado límite de servicio para realizar las comprobaciones.

Estas comprobaciones se harán con diferentes coeficientes de mayoración y manteniendo los mismos coeficientes de simultaneidad para las cargas de efecto desfavorables y favorables (solo viento) imagen 2: Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12.

Los coeficientes de simultaneidad aparecen en la siguiente imagen:

En general, para las acciones permanentes, el valor representativo es el valor característico.

Para las acciones variables, dependiendo del tipo de estructura y de las acciones que se consideren, pueden existir los siguientes valores representativos:

- Valor de combinación $\Psi_0 Q_k$. Es el valor representativo de las acciones variables que actúan simultáneamente con otra acción variable, considerada esta como determinante, en las combinaciones poco probables.
- Valor frecuente $\Psi_1 Q_k$. Es el valor representativo de la acción variable que sólo es sobrepasado durante periodos de corta duración respecto de la vida útil de la estructura.
- Valor cuasi-permanente $\Psi_2 Q_k$. Es el valor representativo de la acción variable que es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil de la estructura.

En general, para las acciones accidentales, el valor representativo es el valor característico.

Para la comprobación frente a ciertos estados límite, como por ejemplo fatiga y vibraciones, puede ser necesario el empleo de otros valores representativos.

Salvo que las reglamentaciones de acciones vigentes indiquen lo contrario, se adoptarán para los coeficientes Ψ_i de simultaneidad los valores recogidos en las tablas 11.a, 11.b, 11.c y 11.d.

Tabla 11.a

Coeficientes de simultaneidad para las sobrecargas de uso en edificios

Uso del elemento	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Zonas residenciales y domésticas	0,7	0,5	0,3
Zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Zonas de tráfico, peso del vehículo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico, 30 kN < peso del vehículo ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Cubiertas no accesibles	0,0	0,0	0,0

Tabla 11.b

Coeficientes de simultaneidad para la acción de la nieve

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Edificios emplazados a una altitud $H > 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,7	0,5	0,2
Edificios emplazados a una altitud $H \leq 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,5	0,2	0,0

Tabla 11.c

Coeficientes de simultaneidad para la acción del viento

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,2	0,0

Tabla 11.d

Coeficientes de simultaneidad para la acción térmica

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,5	0,0

Imagen 10: tablas 11.a, 11.b, 11.c, 11.d con los valores de simultaneidad de las cargas.

Valores de los coeficientes de simultaneidad para las diferentes cargas:

Peso tuberías		
Ψ_{0t}	Ψ_{1t}	Ψ_{2t}
1	0,9	0,8
Sobrecarga de uso mantenimiento		
Ψ_{0m}	Ψ_{1m}	Ψ_{2m}
0	0	0
Nieve		
Ψ_{0n}	Ψ_{1n}	Ψ_{2n}
0,5	0,2	0
Viento		
Ψ_{0v}	Ψ_{1v}	Ψ_{2v}
0,6	0,5	0

Tabla 20: coeficientes de simultaneidad para las cargas variables

MUY IMPORTANTES LOS INDICES DE Ψ PARA SEGUIR LOS CALCULOS

Para los valores de Ψ del peso de las tuberías, se va a considerar una zona de almacenamiento.

1.2.1.1. Estado límite último

Para el cálculo de las acciones en estado límite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12, como combinación de acciones en situación persistente o transitoria:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

γ → mayoración de acciones

Ψ → coeficiente de simultaneidad

$G_{k,j}$ → valor característico de las acciones permanentes

$Q_{k,1}$ → valor característico de la acción variable determinante

$\Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ → valor de combinación de las acciones variables simultáneas

Tabla 12.1

Coefficientes parciales para las acciones, aplicables para la evaluación de los estados límite últimos

Tipo de acción	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones accidentales	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Imagen 11: Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12.



1.2.1.2. Estado límite de servicio

Para el estado límite de servicio se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula del apartado 13.3 del EAE-12, es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

γ → mayoración de acciones

Ψ → coeficiente de simultaneidad

$G_{k,j}$ → valor característico de las acciones permanentes

$Q_{k,1}$ → valor característico de la acción variable determinante

$\Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ → valor de combinación de las acciones variables simultáneas

Los valores de mayoración los encontraremos en la tabla 12.2 del apartado 12.1 del EAE-12 que se plasma a continuación. En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1.

Tabla 12.2

Coefficientes parciales para las acciones, aplicables para la evaluación de los estados límite de servicio

Tipo de acción	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Imagen 12: tabla del apartado 12.1 del EAE-12 con valores de mayoración.

Para los valores de simultaneidad de cargas, se va a utilizar los valores de la tabla 1 de este documento.

La acción variable de sobrecarga de uso no se tendrá en cuenta por su duración puntual.

*los valores utilizados en el cálculo de los estados límite de servicio y último se identifican gracias al subíndice que se indica en cada hipótesis.

1.2.2. Acciones sobre los pórticos

Los diferentes valores de carga se han obtenido en diferentes apartados del punto anterior de este mismo documento.

El peso propio se ha obtenido en el apartado "1.1.1.1.1. Peso propio pórtico". El peso de las tuberías en el apartado "1.1.2.1.1. Peso de las tuberías sobre el pórtico". El valor de mantenimiento en el apartado "1.1.2.2. Sobrecarga de uso". El de la nieve en el apartado "1.1.2.3.1. Nieve sobre los pórticos". Y el del viento del apartado "1.1.2.4.1. Resultado del viento"

Todos estos valores mencionados, se muestran recogidos en la siguiente tabla:

G_1	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Peso propio	Peso tuberías	Mantenimiento	Nieve	Viento
700 N/m	11163 N/m	220 N/m	911 N/m	-3275 N/m

Tabla 21: valores de las cargas

- Acciones permanentes son:

$$\text{Peso propio estructura} \rightarrow G_1 = 700 \text{ N/m}$$

- Acciones variables:

$$\text{Peso tuberías} \rightarrow Q_1 = 11.163 \text{ N/m}$$

$$\text{Sobrecarga de uso} \rightarrow Q_2 = 220 \text{ N/m}$$

$$\text{Nieve} \rightarrow Q_3 = 911 \text{ N/m}$$

$$\text{Vientos} \rightarrow Q_4 = -3.275 \text{ N/m}$$

1.2.2.1. Estado limite ultimo

Para el cálculo de las acciones en estado limite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

1.2.2.1.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a incluir como variable principal la sobrecarga de uso, incluyendo también el peso de las tuberías. Las acciones del viento y la nieve se consideran nulas durante los trabajos de mantenimiento.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_2 + (\gamma_Q \cdot \Psi_{0t} \cdot Q_1) = 18.020,4 \text{ N/m}$$

1.2.2.1.2. Hipótesis 2

En esta hipótesis, se va a considerar el peso de las tuberías como carga variable principal, la acción de la nieve como primera, el mantenimiento como segunda acción y el viento como última acción.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_1 + (\gamma_Q \cdot \Psi_{0n} \cdot Q_3 + \gamma_Q \cdot \Psi_{1m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \Psi_{2v} \cdot Q_4) = 18.373,86 \text{ N/m}$$

1.2.2.1.3. Hipótesis 3

En esta hipótesis, se va a considerar la nieve como principal, el peso de las tuberías como primera carga variable, la sobrecarga de uso como segunda y el viento como tercera.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_3 + (\gamma_Q \cdot \psi_{ot} \cdot Q_1 + \gamma_Q \cdot \psi_{1m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \psi_{2v} \cdot Q_4) = 19.057,3 \text{ N/m}$$

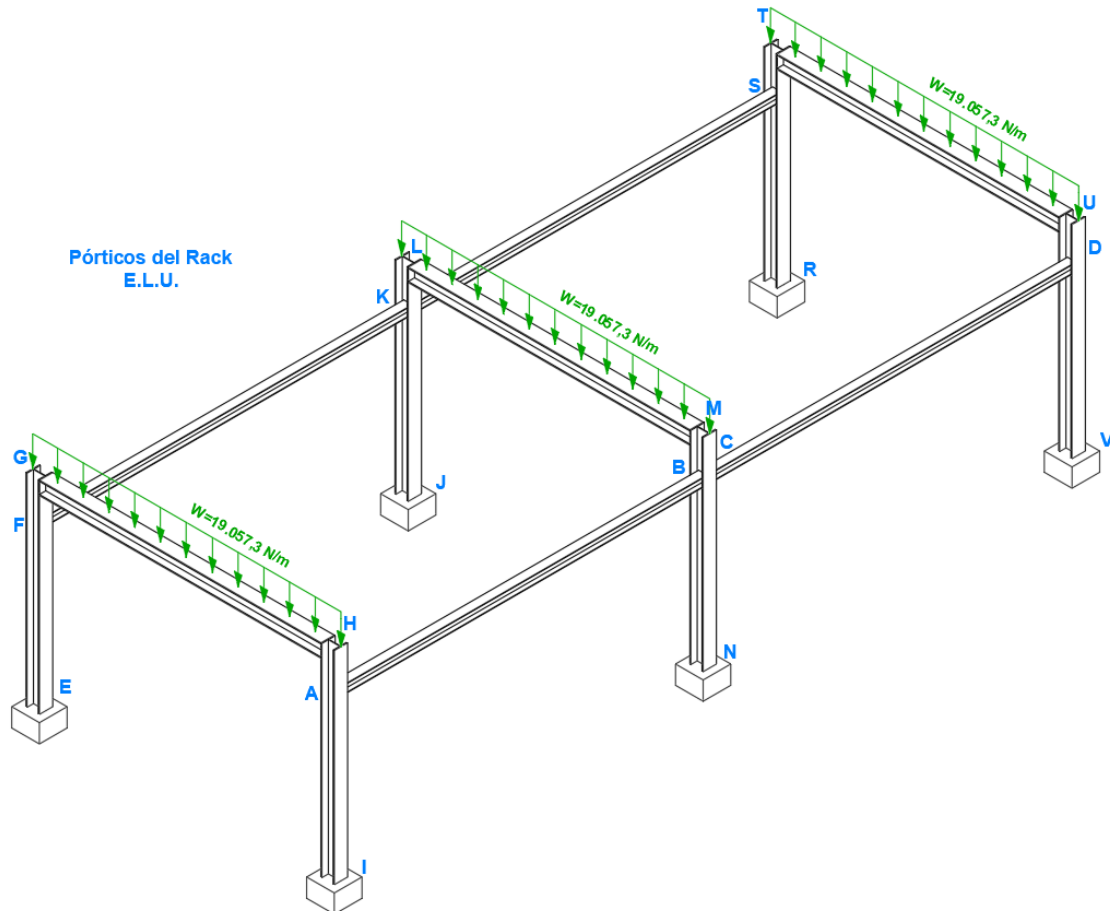


Imagen 13: representación de las fuerzas sobre los pórticos del rack en estado límite último

1.2.2.2. Estado límite de servicio

Para el estado límite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1.

Los coeficientes de simultaneidad ψ se encuentran en la tabla 35 de este documento.

1.2.2.2.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a considerar el peso de las tuberías como la primera acción variable y el resto como secundarias.

$$G_1 + Q_1 \cdot \psi_{1t} + (\psi_{2v} \cdot Q_4 + \psi_{2n} \cdot Q_3 + \psi_{2m} \cdot Q_2) = 10.746,7 \text{ N/m}$$

1.2.2.2.2. Hipótesis 2

En esta hipótesis se va a considerar la nieve como primera acción variable y resto como secundarias

$$G_1 + Q_3 \cdot \psi_{1n} + (\psi_{2t} \cdot Q_1 + \psi_{2v} \cdot Q_4 + \psi_{2m} \cdot Q_2) = 9812,6 \text{ N/m}$$

1.2.2.3. Resultados

W _{PORTICO}	
N/m	
E.L.U.	18812,35
E.L.S.	10746,7

Tabla 22: resultado de las cargas sobre los pórticos

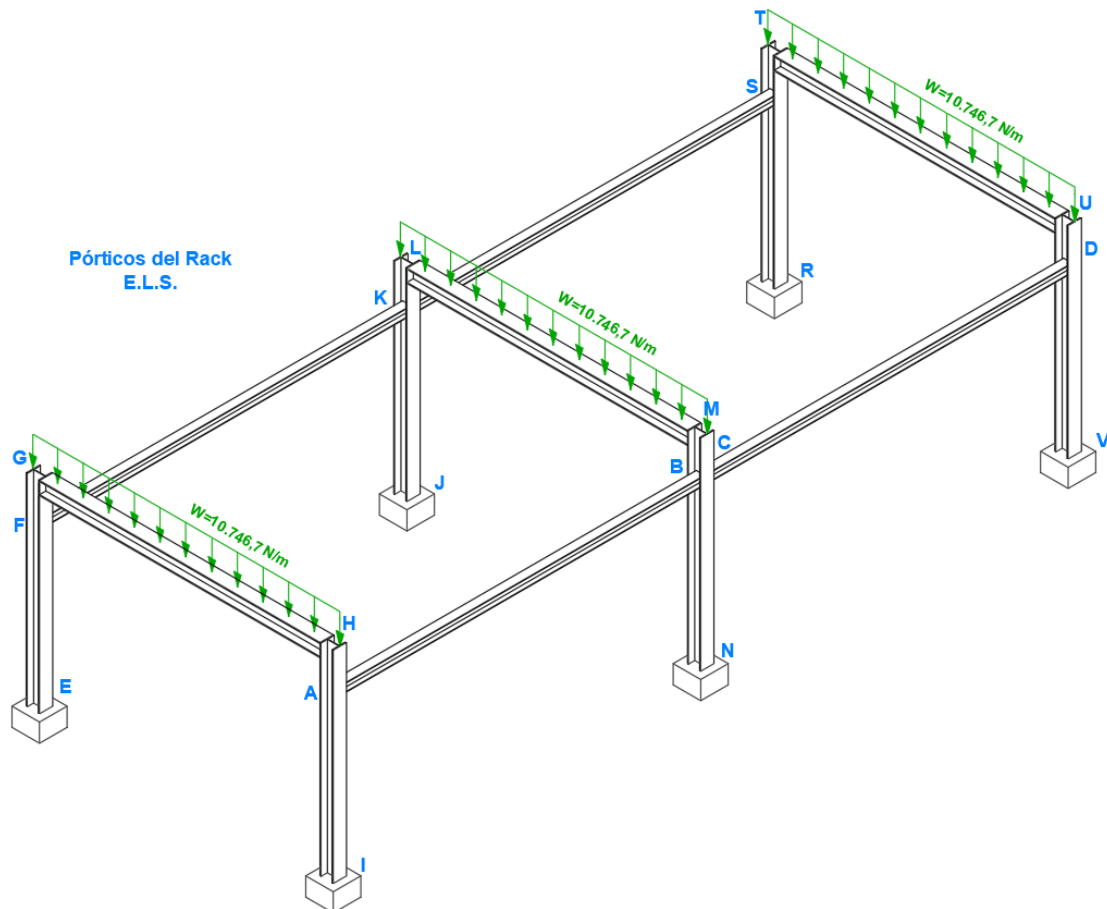


Imagen 14: representación de las fuerzas sobre los pórticos del rack en estado limite de servicio



1.2.3. Combinación de acciones en viga transversal izquierda AB

Sobre la viga transversal AB se apoyan las líneas 7-C30-6" (P1), 15-A15-6" (P2) y 14-A15-6" (P3).

Los valores de las tuberías serán cargas puntuales, y la combinación de acciones será una carga repartida.

Los valores que transmiten estas tuberías se han obtenido mediante la simulación de las líneas en CaePipe y se pueden encontrar todos los resultados en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los valores de la línea 7-C30-6" (P1) los encontramos en la imagen 267 del apartado "12.2.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Los valores de la línea 15-A15-6" (P2) se muestran en la imagen 215 del apartado "11.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y los valores de la línea 14-A15-6" (P3) se muestran en la imagen 197 del apartado "10.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Todos estos valores se encuentran recogidos en la tabla 7 del apartado "1.1.2.1.2.1. Viga transversal AB" de este mismo documento.

Los valores de peso propio se han calculado en el apartado "1.1.1.1.2. Peso propio vigas transversales". Los valores de mantenimiento en el apartado "1.1.2.2. Sobrecarga de uso", los valores de la nieve en el apartado "1.1.2.3.2.1. Viga transversal AB" y los valores del viento en el apartado "1.1.2.4.4.2. Resultados del viento en viga transversal izquierda AB"

G1	Q1						Q2	Q3	Q4
Peso propio	Peso tuberías						Mantenimiento	Nieve	Viento
	P1		P2		P3				
N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	N/m	N/m	N/m
330,26	3182	0	2729	819	2516	1064	140	163	-586,2

Tabla 23: valores de las cargas sobre el portante izquierdo AB

1.2.3.1. Estado limite ultimo

Para el cálculo de las acciones en estado limite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los valores de mayoración están en la Imagen 2 (Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12), de este mismo documento.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento.

1.2.3.1.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a incluir como variable principal la sobrecarga de uso. Las acciones del viento y la nieve se consideran nulas durante los trabajos de mantenimiento.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_2 = 655,8 \text{ N/m}$$

1.2.3.1.2. Hipótesis 2

Para esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga variable principal, el mantenimiento como primera carga variable y el viento como segunda.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_3 + (\gamma_Q \cdot \psi_{0m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \psi_{1v} \cdot Q_4) = 250,83 \text{ N/m}$$

1.2.3.1.3. Hipótesis 3

En esta hipótesis se considerará el viento como acción principal.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_4 + (\gamma_Q \cdot \psi_{0n} \cdot Q_3 + \gamma_Q \cdot \psi_{1m} \cdot Q_2) = -311,13 \text{ N/m}$$

Comparando las tres hipótesis, podemos concluir que la primera de ellas es la más desfavorable, obteniendo una hipótesis de cálculo como la que podemos ver a continuación.

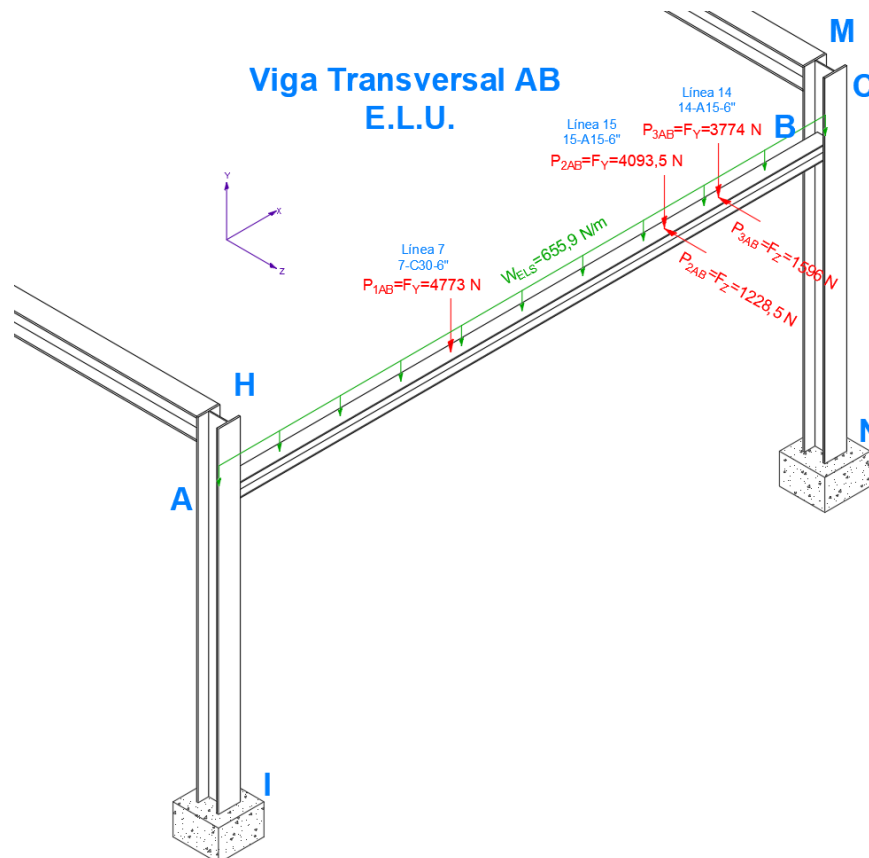


Imagen 15: representación de las fuerzas sobre viga transversal AB en estado límite último

1.2.3.2. Estado límite de servicio

Para el estado límite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1. Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento.

1.2.3.2.1. Hipótesis 1

Para el cálculo de esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga principal y el mantenimiento y el viento como secundarias

$$G_1 + Q_3 \cdot \Psi_{1n} + (\Psi_{2m} \cdot Q_2 + \Psi_{2v} \cdot Q_4) = 362,88 \text{ N/m}$$

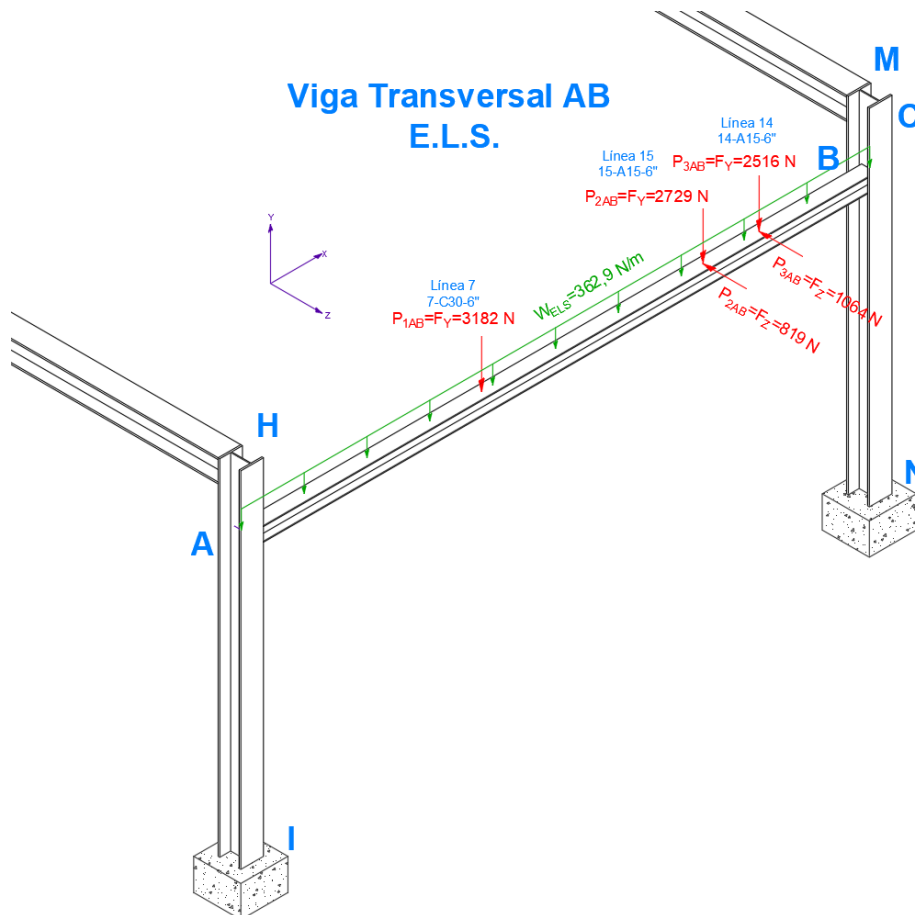


Imagen 16: representación de las fuerzas sobre viga transversal AB en estado límite de servicio

1.2.3.3. Resultados

Los valores de las cargas transmitidos por las tuberías se multiplican directamente por 1,5 en estado limite ultimo. Y se mantienen igual en estado límite de servicio.

Ya que la viga transversal AB es biempotrada, el momento de carga más desfavorable será con el peso de las 3 tuberías. Siendo más desfavorable que en el caso de montaje que solo tendría las cargas verticales y en otro momento de cálculo.

	W_{AB}	P1		P2		P3	
	N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)
E.L.U.	655,9	4773	0	4093,5	1228,5	3774	1596
E.L.S.	362,9	3182	0	2729	819	2516	1064

Tabla 24: resultados de las cargas sobre el pórtico izquierdo AB



1.2.4. Combinación de acciones sobre viga transversal derecha CD

Sobre la viga transversal CD se apoyan las líneas 7-C30-4" (P4), 1-C30-8" (P5), 9-C30-6" (P6), 11-A15-6" (P7) y 10-A15-6" (P8).

Los valores de las tuberías serán cargas puntuales, y la combinación de acciones será una carga repartida.

Los valores que transmiten estas tuberías se han obtenido mediante la simulación de las líneas en CaePipe y se pueden encontrar todos los resultados en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los valores de la línea 7-C30-4" (P4) los encontramos en la imagen 242 del apartado "12.1.2.2. Cargas en los soportes" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los valores de la línea 1-C30-8" (P5) se muestran en la imagen 37 apartado "4.2.4. Support load summary" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Los valores de la línea 9-C30-6" (P6) se muestran en imagen 131, apartado "7.2.3.2. Cargas en los soportes". Los valores de la línea 11-A15-6" (P7) los encontramos en la imagen 176 apartado "9.2.2. Cargas sobre los soportes" y los valores de la línea 10-A15-6" (P8), los encontramos en la imagen 151, apartado "8.2.2. Cargas en los soportes" todos en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Todos estos valores se encuentran recogidos en la tabla 8 del apartado "1.1.2.1.2.2. Viga transversal derecha CD" de este mismo documento.

Los valores de peso propio se han calculado en el apartado "1.1.1.1.2. Peso propio vigas transversales". Los valores de mantenimiento en el apartado "1.1.2.2. Sobrecarga de uso", los valores de la nieve en el apartado "1.1.2.3.2.2. Viga transversal CD" y los valores del viento en el apartado "1.1.2.4.4.3. Resultados del viento en viga transversal derecha CD".

Los valores de las cargas transmitidos por las tuberías se multiplican por 1,5 en estado limite ultimo. Y se mantienen igual en estado límite de servicio.

G1	Q1										Q2	Q3	Q4
Peso propio	Peso tuberías										Mante- nimiento	Nieve	Viento
	P4		P5		P6		P7		P8				
N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	N/m	N/m	N/m
330,3	511	0	4828	1449	4787	0	2607	782	2024	737	140	174	-625

Tabla 25: valores de las cargas sobre el portante derecho CD

1.2.4.1. Estado limite ultimo

Para el cálculo de las acciones en estado limite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los valores de mayoración están en la Imagen 11 (Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12), de este mismo documento.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 20 de este documento.

1.2.4.1.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a incluir como variable principal la sobrecarga de uso. Las acciones del viento y la nieve se consideran nulas durante los trabajos de mantenimiento.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_2 = 655,851 \text{ N/m}$$

1.2.4.1.2. Hipótesis 2

Para esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga variable principal, el mantenimiento como primera carga variable y el viento como segunda.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_3 + (\gamma_Q \cdot \psi_{0m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \psi_{1v} \cdot Q_4) = 238,09 \text{ N/m}$$

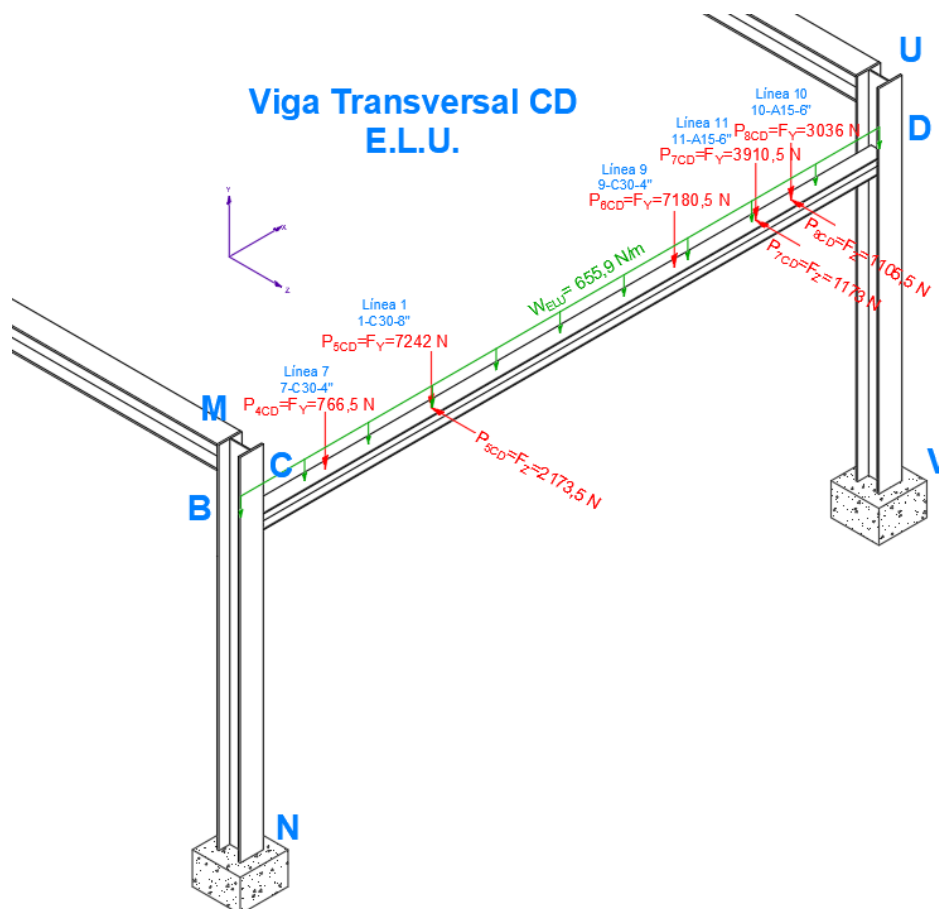


Imagen 17: representación de las fuerzas sobre viga transversal CD en estado limite ultimo

1.2.4.2. Estado límite de servicio

Para el estados limite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1.

Los coeficientes de simultaneidad ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento.

1.2.4.2.1. Hipótesis 1

Para el cálculo de esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga principal y el mantenimiento y el viento como secundarias

$$G_1 \cdot \gamma_G + Q_3 \cdot \psi_{1n} \cdot \gamma_Q + (\gamma_Q \cdot \psi_{2m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \psi_{2v} \cdot Q_4) = 365,06 \text{ N/m}$$

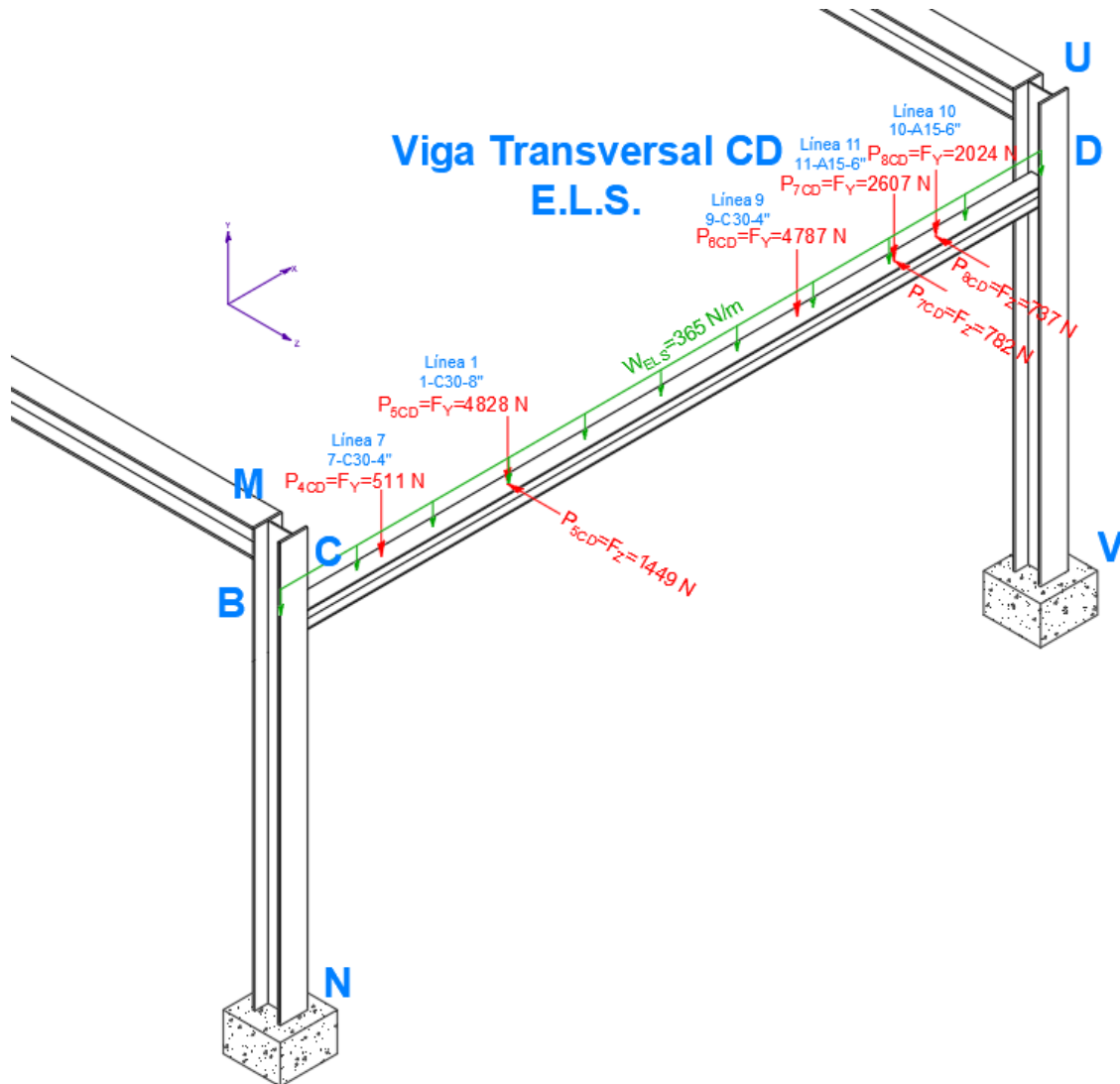


Imagen 18: representación de las fuerzas sobre viga transversal CD en estado límite de servicio

1.2.4.3. Resultados

Ya que la viga transversal CD es biempotrada, la situación de carga más desfavorable será soportando los 5 tuberías en modo operación + viento.

	$W_{\bar{N}}$	P4		P5		P6		P7		P8	
	N/m	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)
E.L.U.	655,8	766,5	0	7242	2173,5	7180,5	0	3910,5	1173	3036	1105,5
E.L.S.	365	511	0	4828	1449	4787	0	2607	782	2024	737

Tabla 26: resultado de las cargas sobre portante derecho CD



1.2.5. Combinación de acciones sobre soporte corto W

Sobre el soporte corto W se apoyan las líneas 11-A15-6" (P9) y 10-A15-6" (P10).

Estas líneas se han simulado en CaePipe y se puede encontrar el análisis completo en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los valores de las tuberías serán cargas puntuales, y la combinación de acciones será una carga repartida.

En primer caso los valores del peso propio se han obtenido en el apartado "1.1.1.1.3. Peso propio soporte corto W".

Los valores de la línea 11-A15-6" (P9) de la imagen 175 apartado "9.2.2. Cargas en los soportes" y los de la línea 10-A15-6" (P10), en la imagen 150, apartado "8.2.2. Cargas en los soportes" ambos apartados del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". También se recogen todos estos valores en la tabla 9 del apartado "1.1.2.1.3.1. Soporte corto W" de este mismo documento.

El valor de mantenimiento se ha obtenido del apartado "1.1.2.2. Sobrecarga de uso", los valores de la nieve en el apartado "1.1.2.3.3.1. nieve sobre soporte corto W" y el viento en el apartado "1.1.2.4.4.4. Resultado viento soporte corto W".

G1	Q1				Q2	Q3	Q4
Peso propio	Peso tuberías				Mantenimiento	Nieve	Viento
	P9		P10				
N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	N/m	N/m	N/m
417	1829	549	1883	128	100	687	-2470

Tabla 27: valores de carga sobre el soporte corto W

Los valores de las cargas transmitidos por las tuberías se multiplican por 1,5 en estado limite ultimo. Y se mantienen igual en estado límite de servicio.

1.2.5.1. Estado limite ultimo

Para el cálculo de las acciones en estado limite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los valores de mayoración están en la Imagen 11 (Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12), de este mismo documento.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 20 de este documento.

1.2.5.1.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a incluir como variable principal la sobrecarga de uso. Las acciones del viento y la nieve se consideran nulas durante los trabajos de mantenimiento.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_2 = 720 \text{ N/m}$$

1.2.5.1.2. Hipótesis 2

Para esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga variable principal, el mantenimiento como primera carga variable y el viento como segunda.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_3 + (\gamma_Q \cdot \Psi_{0m} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \Psi_{1v} \cdot Q_4) = -258,3 \text{ N/m}$$

SOPORTE CORTO W ELU

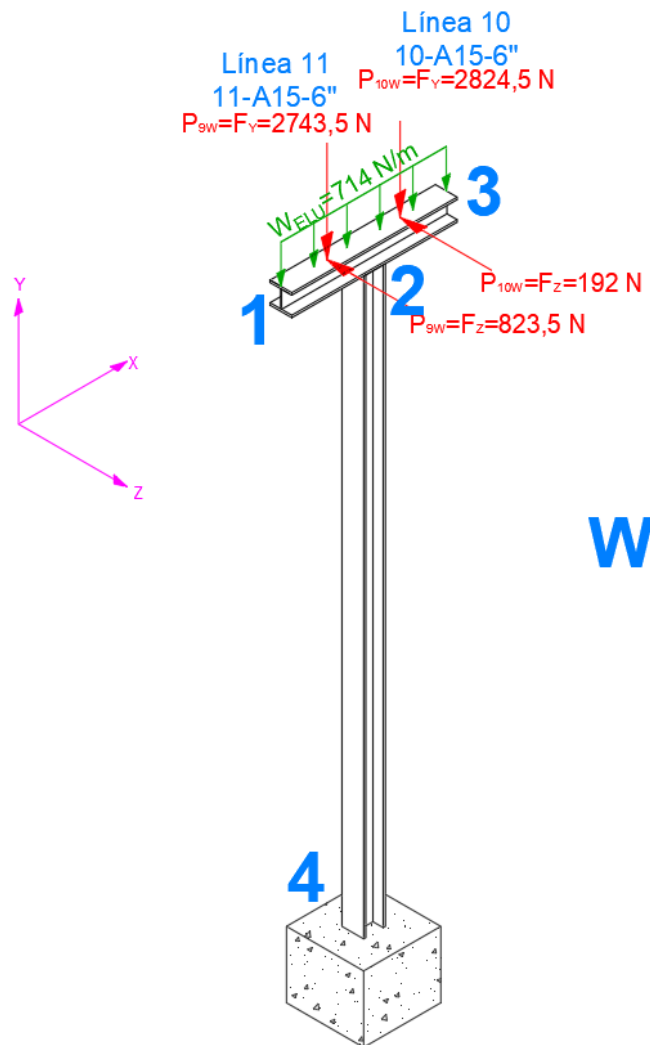


Imagen 19: representación de las fuerzas sobre soporte corto W en estado limite ultimo

1.2.5.2. Estado límite de servicio

Para el estado límite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento

1.2.5.2.1. Hipótesis 1

Para el cálculo de esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga principal y el mantenimiento y el viento como secundarias

$$G_1 + Q_3 \cdot \psi_{1n} + (\psi_{2m} \cdot Q_2 + \psi_{2v} \cdot Q_4) = 554,9 \text{ N/m}$$

SOPORTE CORTO W ELS

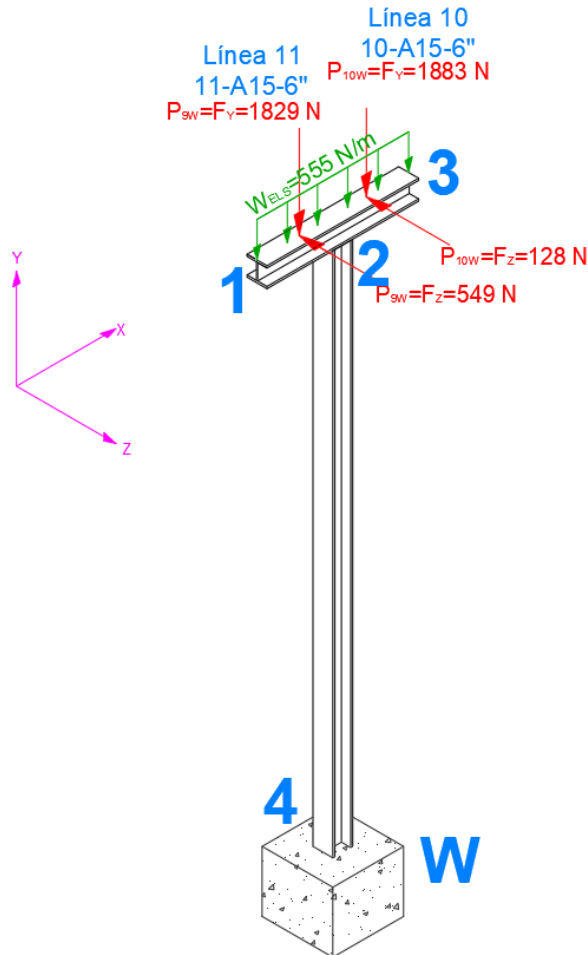


Imagen 20: representación de las fuerzas sobre soporte corto W en estado límite de servicio

1.2.5.3. Resultados

	W_w	P9		P10	
	N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)
E.L.U.	420	2743,5	823,5	2824,5	192
E.L.S.	337,4	1829	549	1883	128

Tabla 28: resultado de todas las cargas que actúan sobre el soporte corto W

1.2.5.4. Hipótesis de montaje

Como el soporte corto W está sujeto en un pilar por el centro, el momento de cargas más desfavorable podría ser el montaje, cuando el soporte únicamente aguante la tubería

Pero tras su análisis resulta muy bajo, ya que, en el momento de montaje, las tuberías no están trabajando, es decir, el caso de las cargas que transmite, hay que tomar del programa CaePipe el caso "Sustained" (sostenidas), y este no produce carga en la dirección "Z" que produce el momento torsor, que es el desequilibrante.

SOPORTE CORTO W MONTAJE;

SE UTILIZAN LOS VALORES DE "SUSTAINED" SOLO
EN UN ALA PARA SIMULAR LOS ESFUERZOS QUE
SE PRODUCEN DURANTE EL MONTAJE

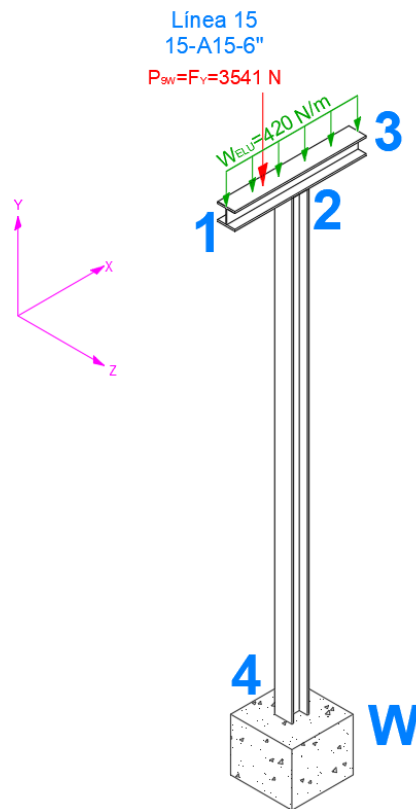


Imagen 21: representación la fuerza sobre soporte corto W en su hipótesis mas desfavorable



1.2.6. Combinación de acciones sobre soporte largo Ñ

Sobre el soporte largo apoyan 4 líneas. Los valores de estas 4 líneas. Estas líneas son 15-A15-6" (P11), 5-C30-8" (P12), 14-A15-6" (P13) Y 4-C30-10" (P14).

Los valores de los pesos de las tuberías se han obtenido gracias a la simulación de las líneas en CaePipe y se explica en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Los valores de las tuberías serán cargas puntuales, y la combinación de acciones será una carga repartida.

Los valores de la línea 15-A15-6" (P11), se obtienen de la imagen 214 del apartado "11.2.2. Cargas en los soportes", los valores de la línea 5-C30-8" (P12), de imagen 104, apartado "6.2.2. Cargas en los soportes", los valores de la línea 14-A15-6" (P13) de la imagen 196, apartado "10.2.2. Cargas en los soportes" y los valores de la línea 4-C30-10" (P14) de la imagen 81 del apartado "5.2.2. Cargas sobre los soportes". Todos estos valores y apartados los encontramos en el anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe", también podemos encontrarlo en la tabla 10 del apartado "1.1.2.1.3.2. Soporte largo Ñ" de este mismo documento.

El valor del peso propio se ha obtenido del apartado "1.1.1.1.4. Peso propio soporte largo Ñ". El valor de mantenimiento se ha obtenido del apartado "1.1.2.2. Sobrecarga de uso", los valores de la nieve en el apartado "2.1.2.3.3.2. nieve sobre soporte largo "Ñ" y el viento en el apartado "1.1.2.4.4.5. Resultado viento soporte largo Ñ".

G1		Q1							Q2	Q3	Q4
Peso propio	Peso tuberías								Mante- nimiento	Nieve	Viento
	P11		P12		P13		P14				
N/m	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	N/m	N/m	N/m
1535,66	4004	195	2206	662	2612	784	8818	2645	160	459	-1650

Tabla 29: valores de carga sobre el soporte largo Ñ

Los valores de las cargas transmitidos por las tuberías se multiplican directamente por 1,5 en estado limite ultimo. Y se mantienen igual en estado límite de servicio.

1.2.6.1. Estado limite ultimo

Para el cálculo de las acciones en estado limite último, utilizamos la fórmula que aparece en el apartado 13.2 del EAE-12:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los valores de mayoración están en la Imagen 2 (Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12), de este mismo documento.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento.

1.2.6.1.1. Hipótesis 1

En esta hipótesis se va a incluir como variable principal la sobrecarga de uso. Las acciones del viento y la nieve se consideran nulas durante los trabajos de mantenimiento.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_2 = 2313,1 \text{ N/m}$$

1.2.6.1.2. Hipótesis 2

Para esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga variable principal, el mantenimiento como primera carga variable y el viento como segunda.

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_Q \cdot Q_3 + (\gamma_Q \cdot \psi_{om} \cdot Q_2 + \gamma_Q \cdot \psi_{1v} \cdot Q_4) = 1524,4 \text{ N/m}$$

SOPORTE LARGO Ñ E.L.U.

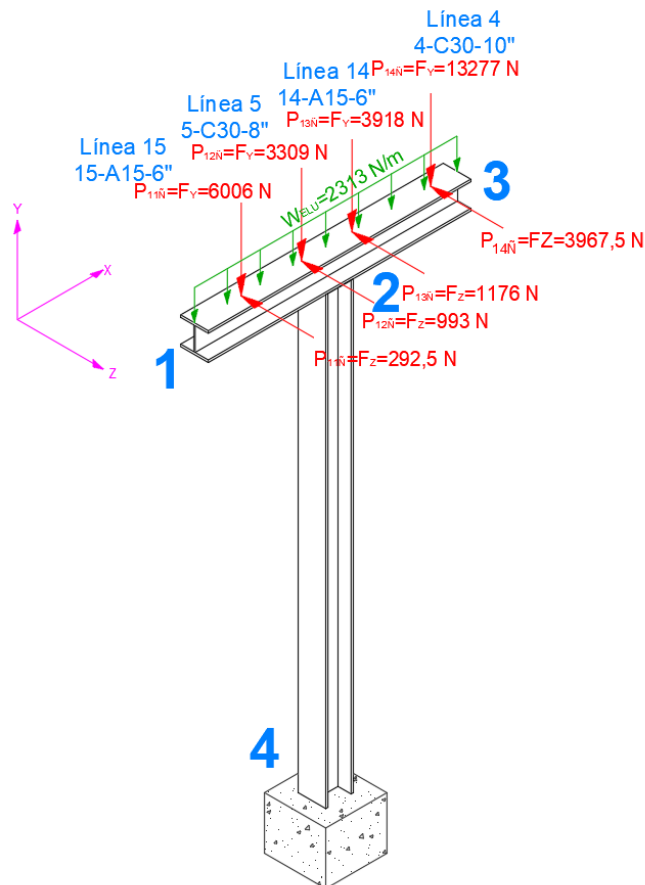


Imagen 22: representación de las fuerzas sobre soporte largo Ñ en estado limite ultimo

1.2.6.2. Estado límite de servicio

Para el estado límite de servicio se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. Para una combinación de acciones frecuentes, la fórmula es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En estado límite de servicio, los valores de mayoración siempre serán 1.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ se encuentran en la tabla 1 de este documento

1.2.6.2.1. Hipótesis 1

Para el cálculo de esta hipótesis se va a considerar la nieve como carga principal y el mantenimiento y el viento como secundarias

$$G_1 + Q_3 \cdot \Psi_{1n} + (\Psi_{2m} \cdot Q_2 + \Psi_{2v} \cdot Q_4) = 1627,4 \text{ N/m}$$

SOPORTE LARGO Ñ E.L.S.

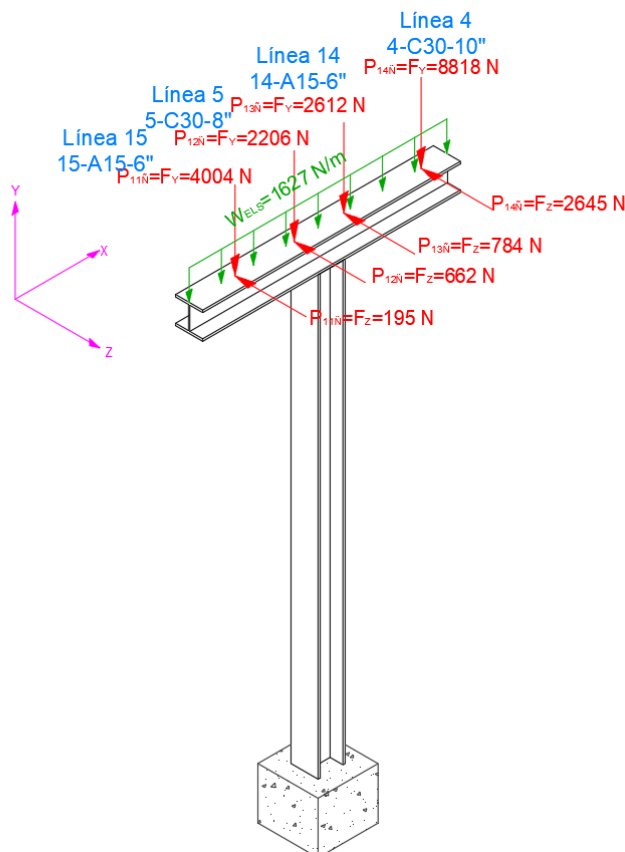


Imagen 23: representación de las fuerzas sobre soporte largo Ñ en estado límite de servicio

1.2.6.3. Resultados

	W1	P11		P12		P13		P14	
	N/m	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)	F _y (N)	F _z (N)
E.L.U.	803,6	6006	292,5	3309	993	3918	1176	13227	3967,5
E.L.S.	646,5	4004	195	2206	662	2612	784	8818	2645

Tabla 30: resultados de todas las cargas que actúan sobre el soporte largo Ñ

1.2.6.4. Hipótesis de montaje

El soporte largo Ñ es un soporte en T que consiste en una viga apoyada en el centro en un pilar. Dependiendo de la carga que tenga en cada ala, el momento en su empotramiento será diferente. Debido a esto, el momento más desfavorable podría ser durante el montaje, cuando únicamente existan las cargas P13 y P14.

Pero tras su análisis y cálculo ha quedado demostrado que no supone ningún riesgo.

SOPORTE LARGO Ñ MONTAJE;

SE UTILIZAN LOS VALORES DE "SUSTAINED"
SOLO EN UN ALA PARA SMULAR LOS
MOMENTOS QUE SE PRODUCEN DURANTE EL
MONTAJE

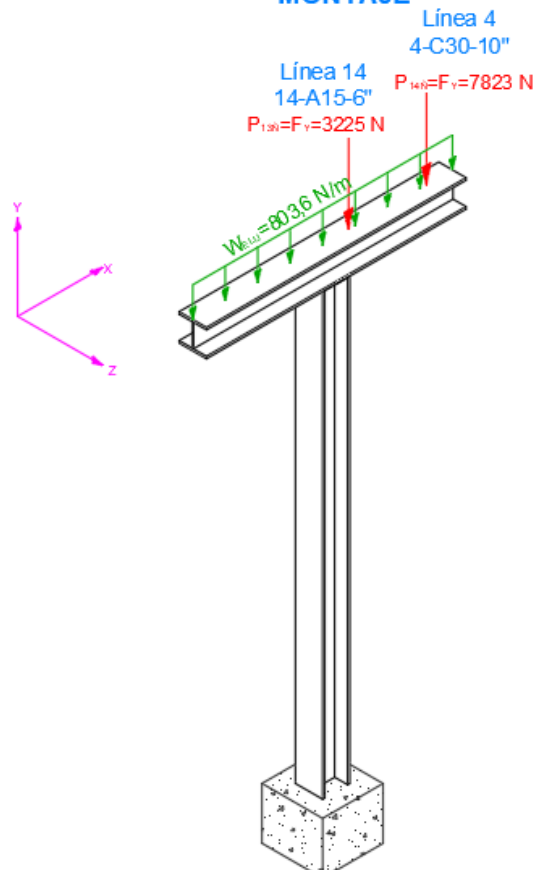


Imagen 24: representación la fuerza sobre soporte largo Ñ en su hipótesis más desfavorable

2. Viga Transversal AB

En nuestro modelo existen 4 vigas transversales que rigidizan la estructura portificada.

El primer caso de cálculo será de la viga transversal AB que sostiene 3 tuberías. Los esfuerzos que transmiten las 3 tuberías a la viga transversal AB se han calculado anteriormente con CaePipe.

Primero se realizará un estudio analítico, mediante el método de superposición y un prontuario para vigas biempotradas, se calculan los esfuerzos y momentos generados por cada carga y luego se juntan cuidadosamente.

Con estos cálculos podremos dimensionar y verificar la viga transversal AB y obtener los valores de carga que transmite este portante a los pilares HI y MN.

Los portantes se van a dimensionar todos con el mismo perfil para que visualmente quede simétrica la estructura.

Para los cálculos en las vigas transversales AB y CD se han utilizado los prontuarios que se ven a continuación para vigas biempotradas con carga puntual no centrada y con carga uniforme en todo el vano.

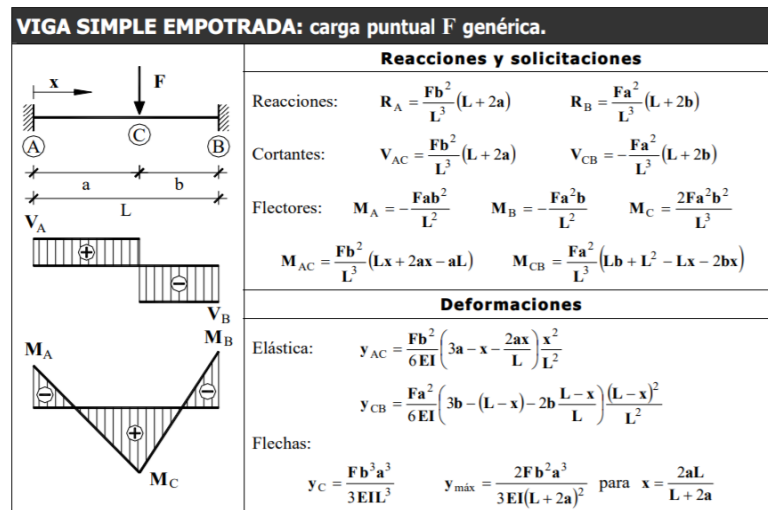


imagen 25: prontuario vigas biempotradas, carga puntual genérica

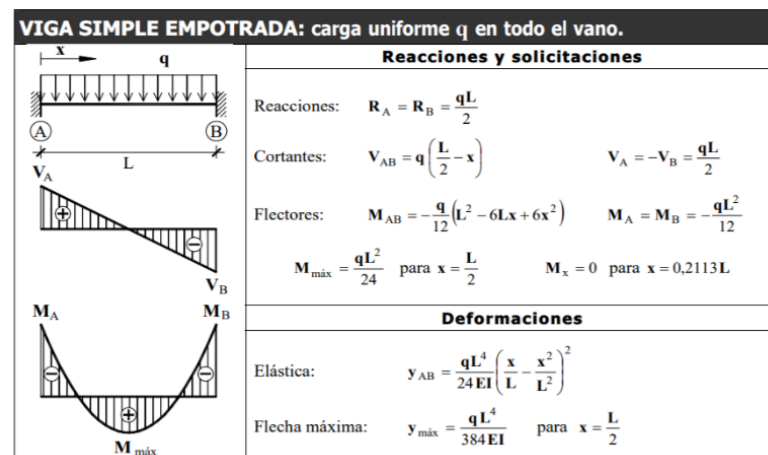


imagen 26: prontuario vigas biempotradas con carga uniforme en todo el vano

2.1. Cálculos viga transversal AB en Estado limite Ultimo

Con los cálculos realizados en el apartado "1.2.3.1.1. Hipótesis 1" se desarrollan unos valores para realizar el estudio en estado limite ultimo.

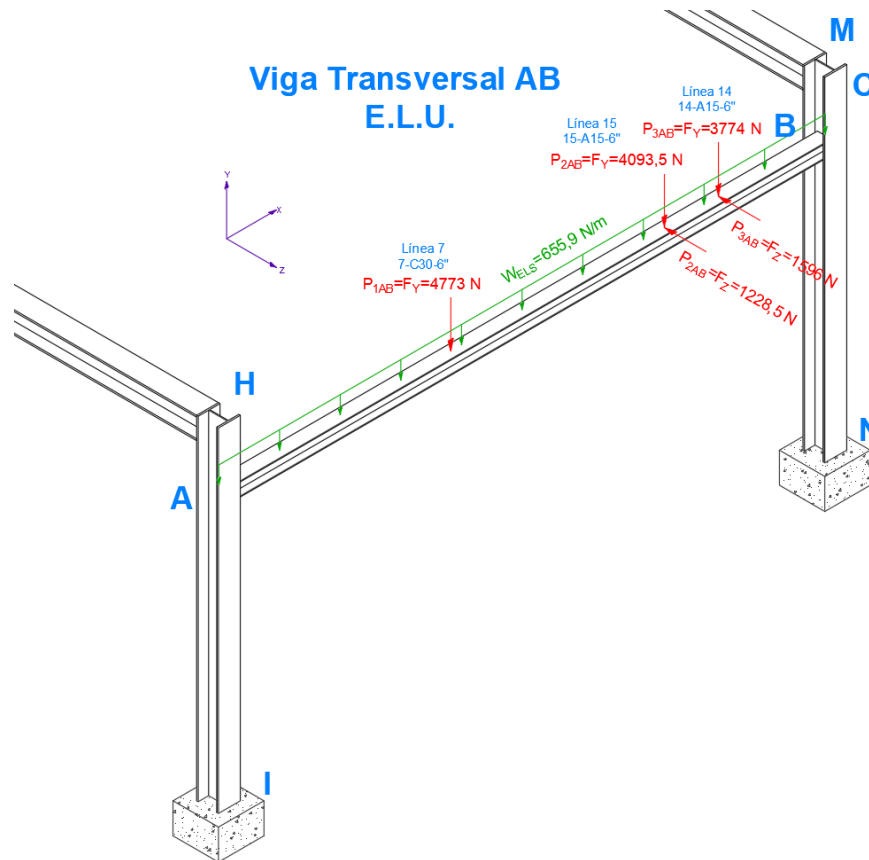


Imagen 27: representación gráfica de los valores de carga para la viga transversal AB en estado limite Ultimo

2.1.1. Reacciones plano YX

Primero se calculan las reacciones en el plano YX, en primer lugar, las producidas por las cargas puntuales, y en segundo por la carga repartida. Para ello utilizaremos las fórmulas para las reacciones de los prontuarios.

Fórmulas para calcular las reacciones en A y B generadas por cargas puntuales en el plano YX:

$$R_A = \frac{F \cdot b^2}{L^3} (L + 2a)$$

$$R_B = \frac{F \cdot a^2}{L^3} (L + 2b)$$

Reacciones Cargas puntuales --> Plano YX								
Líneas	Cargas	a (mm)	b (mm)	P _y (N)	L (mm)	R _{AY} (N)	R _{BY} (N)	
7-C30-6	P1	2337	37631	4773	6100	3208,1	1564,9	
15-A15-6	P2	4486	1614	4093,5	6100	708,1	3385,4	
14-A15-6	P3	5030	1070	3774	6100	307,6	3466,4	
R_{AY}+R_{BY}						R_{AY}	R_{BY}	R_{AY}+R_{BY}
12640,5						4223,8	8416,7	12640,5

Tabla 31: resultados reacciones producidas por cargas puntuales en plano YX

Formulas del prontuario (imagen26) para calcular las reacciones generadas en A y B por la carga distribuida en el plano YX:

$$R_A = R_B = \frac{q \cdot L}{2}$$

Reacciones Carga distribuida --> Plano YX					
Carga	W	L	R _{AY}	R _{BY}	R _{AY} +R _{BY}
	N/m	m	(N)	(N)	(N)
W1	655,851	6,1	2000,3	2000,3	4000,7
W·L=R _{AY} +R _{BY}					4000,7

Tabla 32: resultados reacciones producidas por la carga distribuida en plano YX

Ahora para obtener el valor total de las reacciones en el plano YX sumamos los resultados obtenidos por las fuerzas puntuales y por la carga distribuida. Obteniendo el total que se ve a continuación.

R _{AY} (N)	R _{BY} (N)
6224,1	10417,0

Tabla 33: RESULTADO TOTAL de las reacciones en el plano YX de los puntos A y B

2.1.2. Reacciones plano ZX

Estas reacciones son más fáciles de calcular al solo haber dos cargas puntuales en la dirección Z. para ello se utilizará la misma fórmula que para calcular las reacciones en el plano YX.

Reacciones Cargas puntuales --> Plano ZX							
Líneas	Cargas	a	b	P _Z	L	R _{AX}	R _{BX}
		(mm)	(mm)	(N)	(mm)	(N)	(N)
7-C30-6	P1	2337	3763	0	6100	0,0	0,0
15-A15-6	P2	4486	1614	1228,5	6100	212,5	1016,0
14-A15-6	P3	5030	1070	1596	6100	130,1	1465,9
R _{AX} +R _{BX}							
						2824,5	

Tabla 34: resultados parciales de las reacciones en el plano ZX por cargas puntuales

R _{AX} (N)	R _{BX} (N)	R _{AX} +R _{BX} (N)
342,6	2481,9	2824,5

Tabla 35: RESULTADO TOTAL de las reacciones en los puntos A y B en el plano ZX

También se han sumado las cargas y las reacciones para comprobar que son iguales y asegurar los cálculos.

2.1.3. Momentos en el plano YX

Para calcular los momentos, como pasaba con las reacciones, vamos a utilizar un prontuario para cargas puntuales con las siguientes formulas:

$$M_A = -\frac{F \cdot a \cdot b^2}{L^2}$$

$$M_B = -\frac{F \cdot b \cdot a^2}{L^2}$$

$$M_C = -\frac{2F \cdot a^2 \cdot b^2}{L^3}$$

Momentos producidos por las Cargas puntuales --> Plano YX								
Líneas	Cargas	a	b	Py	l	M _{AY}	M _{BY}	M _{CY}
		(m)	(m)	(N)	(m)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
7-C30-6	P1	2,337	3,763	4773	6,1	-4244,8	-2636,2	3252,5
15-A15-6	P2	4,486	1,614	4093,5	6,1	-1285,6	-3573,2	1890,9
14-A15-6	P3	5,03	1,07	3774	6,1	-584,1	-2745,8	963,3
						M _{AY}	M _{BY}	
						-6114,5	-8955,2	

Tabla 36: resultados de los momentos producidos por las cargas puntuales en el plano YX

Para calcular los momentos ejercido por la fuerza repartida en los puntos A y B, utilizaremos la siguiente formula:

$$M_A = M_B = -\frac{q \cdot L^2}{12}$$

Momentos producidos por la carga distribuida --> Plano YX					
Carga	W	L	M _{AY}	M _{BY}	M _{MAX}
	N/m	m	(N·m)	(N·m)	(N·m)
W1	655,85	6,1	-2033,7	-2033,7	1016,8
					en: (m)
					3,05

Tabla 37: resultados de los momentos producidos por la carga distribuida en el plano YX

Como se ha hecho con las reacciones, cuando tenemos todos los, momentos en el mismo plano y en los mismos puntos, sumamos estos valores para obtener el resultado total:

M _{AY} (N·m)	M _{BY} (N·m)
-8148,2	-10988,9

Tabla 38: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos A y B en el plano YX

2.1.4. Momentos en el plano ZX

Utilizaremos las mismas ecuaciones que para calcular los momentos en el plano XY.

Momentos producidos por las Cargas puntuales --> Plano ZX								
Lineas	Cargas	a	b	PZ	L	M _{AX}	M _{BX}	M _{CX}
		(m)	(m)	(N)	(m)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
7-C30-6	P1	2,337	3,763	0	6,1	0,0	0,0	0,0
15-A15-6	P2	4,486	1,614	1228,5	6,1	-385,8	-1072,4	567,5
14-A15-6	P3	5,03	1,07	1596	6,1	-247,0	-1161,2	407,4

Tabla 39: resultados parciales de los momentos en el plano ZX por cargas puntuales

M _{AX} (N·m)	M _{BX} (N·m)
-632,8	-2233,5

Tabla 40: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos A y B en el plano ZX

2.1.5. Resultados totales

En este apartado se han juntado todos los resultados de la viga transversal AB en estado limite ultimo.

REACCIONES EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
R _{AY} (N)	R _{BY} (N)	R _{AY} (N)	R _{BY} (N)	R _{AZ} (N)	R _{BZ} (N)
4223,8	8416,7				
Carga distribuida		6224,1	10417,0	342,6	2481,9
R _{AY} (N)	R _{BY} (N)				
1637,8	1637,8				

Tabla 41: resultados totales con las reacciones de la viga transversal AB en ELU

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
MOMENTOS PLANO YX				MOMENTOS PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
M _{AY} (N)	M _{BY} (N)	M _{AY} (N·M)	M _{BY} (N·M)	M _{AX} (N·M)	M _{BX} (N·M)
-6114,5	-8955,2				
Carga distribuida		-8148,2	-10988,9	-632,8	-2233,5
M _{AY} (N)	M _{BY} (N)				
-2033,7	-2033,7				

Tabla 42: resultados totales con los momentos de la viga transversal AB en ELU

2.1.6. Diagramas de la viga transversal AB en ELU

Este diagrama realizado con AutoCAD representa a escala (1:300 para viga 1:1) las reacciones y momentos en la viga transversal AB.

En el plano YX podemos diferenciar las reacciones y momentos ejercidos por la carga uniforme en verde y las generadas por las fuerzas puntuales en rojo.

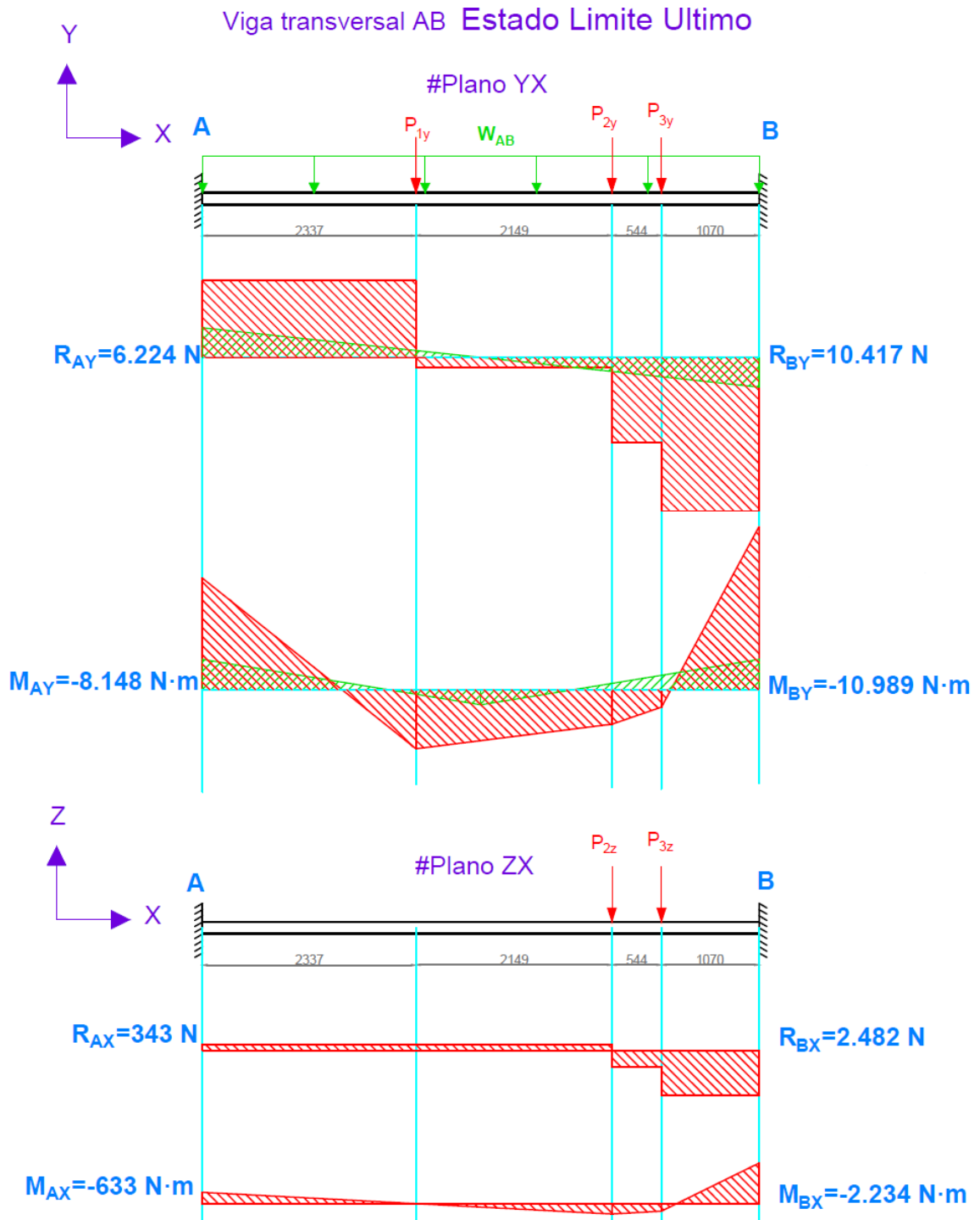
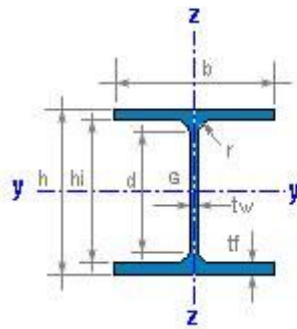


Imagen 28: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal AB en Estado Limite ultimo

2.1.7. Dimensionamiento viga transversal AB

La viga se va a dimensionar con un perfil HEB 140 y acero S-275, las propiedades del perfil las podemos ver a continuación:

HEB 140



$h = 140 \text{ mm}$	$r = 12 \text{ mm}$
$b = 140 \text{ mm}$	$d = 92.0 \text{ mm}$
$t_w = 7.0 \text{ mm}$	$h_i = 116.0 \text{ mm}$
$t_f = 12.0 \text{ mm}$	
<hr/>	
$A = 43.0 \text{ cm}^2$	$M = 33.7 \text{ kg/m}$
<hr/>	
$I_y = 1509 \text{ cm}^4$	$I_z = 550 \text{ cm}^4$
$W_y = 215.6 \text{ cm}^3$	$W_z = 78.5 \text{ cm}^3$
$W_{ply} = 245.4 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 119.8 \text{ cm}^3$
$i_y = 5.93 \text{ cm}$	$i_z = 3.58 \text{ cm}$
$I_t = 20.2 \text{ cm}^4$	$I_w = 22514 \text{ cm}^6$
<hr/>	
$S_y = 122.7 \text{ cm}^3$	$A_{vz} = 13.08 \text{ cm}^2$
$s_y = 12.3 \text{ cm}$	
<hr/>	
$AL = 0.805 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 23.88 \text{ m}^2/\text{t}$

Imagen 29: valores del perfil HEB-140 para vigas transversales

2.1.7.1. Verificación de secciones a flexión

Para el dimensionamiento de la viga transversal AB, vamos a seguir el CTE SE-A apartado 6.2.6. "Resistencia de las secciones a flexión".

$$W_{ned} = \frac{M_{f_{\max}}}{f_{yf}} = \frac{10,99 \text{ kNm}}{\frac{275}{1,05}} = 41.961,8 \text{ mm}^3$$

$$W_{ned} = 41.961,8 \text{ mm}^3 \ll W_{yHEB140} = 215.600 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{Adm} = \frac{M_{f_{\max}}}{W_{yHEB140}} = \frac{10,99 \text{ kNm}}{215.600 \text{ mm}^3} = 50,97 \text{ Mpa}$$

2.1.7.2. Verificación a sección

La siguiente comprobación es a la sección según el apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones",

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pL,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{eL,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{eL,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{10417 \text{ N}}{4300 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{10989000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2156000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{2234000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{785000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,04 \ll 1$$

2.1.7.3. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas

La siguiente comprobación es a esfuerzos combinados según el CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados", según fórmula 6.52 del código técnico:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Para poder realizar esta comprobación, es necesario conocer primero el coeficiente de pandeo en cada eje:

2.1.7.3.1. Comprobación a pandeo viga transversal AB

- Comprobación a pandeo en X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 15,09 \cdot 10^6}{(6100 \cdot 0,5)^2} = 3,362 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4300 \cdot 275}{3,362 \cdot 10^6}} = 0,59 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva B}} > \chi_x = 0,85$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{4300 \cdot 275 \cdot 0,85}{1,05} = 957,26 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{957,26 \cdot 10^3}{1,5} = 638,17 \cdot 10^3 N = 638,17 kN$$

- Comprobación a pandeo en Z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5,5 \cdot 10^6}{(6100 \cdot 0,5)^2} = 1,225 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4300 \cdot 275}{1,1 \cdot 10^6}} = 0,98 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} > \chi_z = 0,55$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_z}{\gamma_{M0}} = \frac{4300 \cdot 275 \cdot 0,55}{1,05} = 619,4 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{619,4 \cdot 10^3}{1,5} = 412,9 \cdot 10^3 N = 412,94 kN$$



- Valores necesarios para la verificación a interacciones de esfuerzos en la pieza:

$$N_{Ed} = 10,42 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,85 \quad \chi_z = 0,55$$

$$M_{yMáx} = M_{xMáx} = 10,99 \text{ kNm}$$

$$Area_{HEB 140} = 4300 \text{ mm}^2$$

$$M_{zMáx} = 2,23 \text{ kNm}$$

$$W_{YHEB 140} = 2,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,004$$

$$W_{ZHEB 140} = 0,785 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,023$$

$$c_{mz} = 0,6 \quad c_{my} = 0,9$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{10,417 \cdot 10^3}{0,55 \cdot 4300 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,004 \cdot \frac{0,9 \cdot 10,99 \cdot 10^6}{2,156 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,023 \cdot \frac{0,6 \cdot 2,23 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,038$$

$$0,038 \ll 1$$

2.1.7.4. Comprobación a Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 2,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 139,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 13,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$137,9 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

Cumpliendo todas las verificaciones planteadas por el código técnico, queda demostrado su idoneidad para nuestro proyecto.

2.2. Cálculos viga transversal AB en Estado Límite de Servicio

En este apartado se va a calcular la viga transversal AB en estado límite de servicio, tal y como se calculó en el apartado "1.2.3.2.1. Hipótesis 1" calculando hipótesis de cálculo. En el estado límite de servicio no se mayoran las cargas y la combinación de acciones es diferente. Gracias a estos cálculos vamos a poder obtener la deformación de la viga.

La viga se ha analizado igual que en estado límite último, y además se han calculado las deformaciones. El análisis completo, se ha realizado de la misma forma utilizando las mismas formulas, por lo que únicamente se presentarán los resultados y los diagramas. Además de las deformaciones parciales y totales en la viga transversal AB.

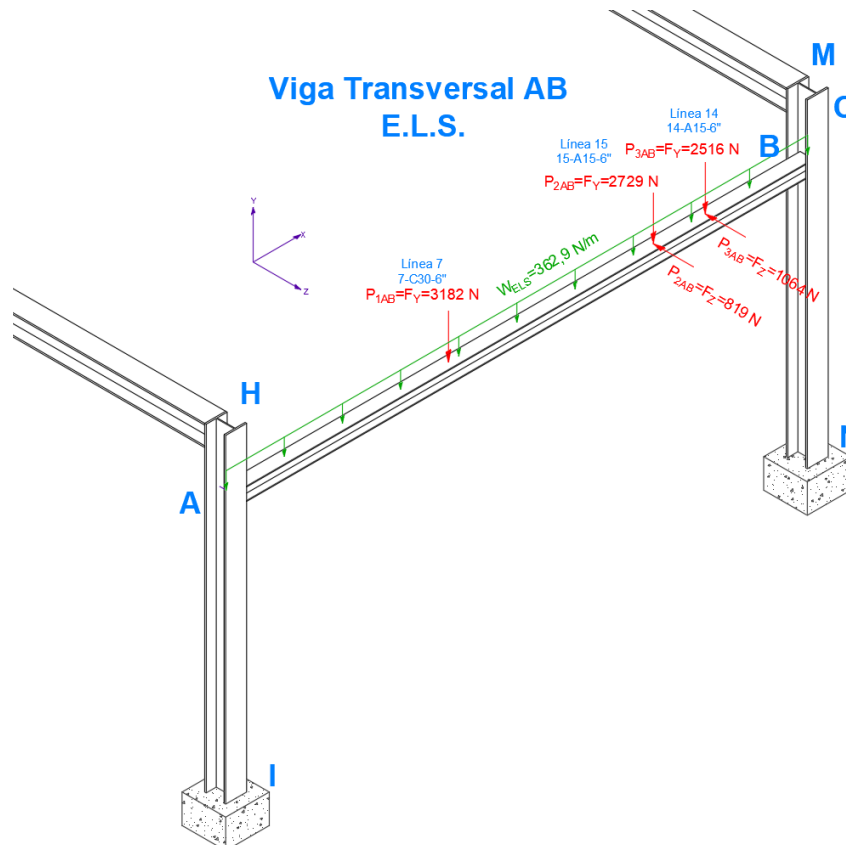


Imagen 30: representación gráfica de valores de carga para la viga transversal AB en ELS

2.2.1. Resultados totales

En este apartado se han juntado todos los resultados de la viga transversal AB en estado límite último.

REACCIONES EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
RaY (N)	RBy (N)	RAY (N)	RBy (N)	RAZ (N)	RBZ (N)
2815,9	8416,7				
Carga distribuida		6224,1	10417,0	342,6	2481,9
RaY (N)	RBy (N)				
1106,8	1637,8				

Tabla 43: resultados totales con las reacciones de la viga transversal AB en ELU

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
MOMENTOS PLANO YX				MOMENTOS PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
MaY (N)	M _{BY} (N)	M _{AY} (N·M)	M _{BY} (N·M)	M _{AX} (N·M)	M _{BX} (N·M)
-4076,3	-8955,2				
Carga distribuida					
MaY (N)	M _{BY} (N)				
-1125,2	-2033,7	-8148,2	-10988,9	-632,8	-2233,5

Tabla 44: resultados totales con los momentos de la viga transversal AB en ELU

2.2.2. Diagramas de la viga transversal AB en ELS

En rojo encontramos las reacciones y momentos generados por las cargas puntuales, mientras que en verde las reacciones y momentos generados por la carga repartida. Los resultados mostrados en azul son la suma de ambos valores.

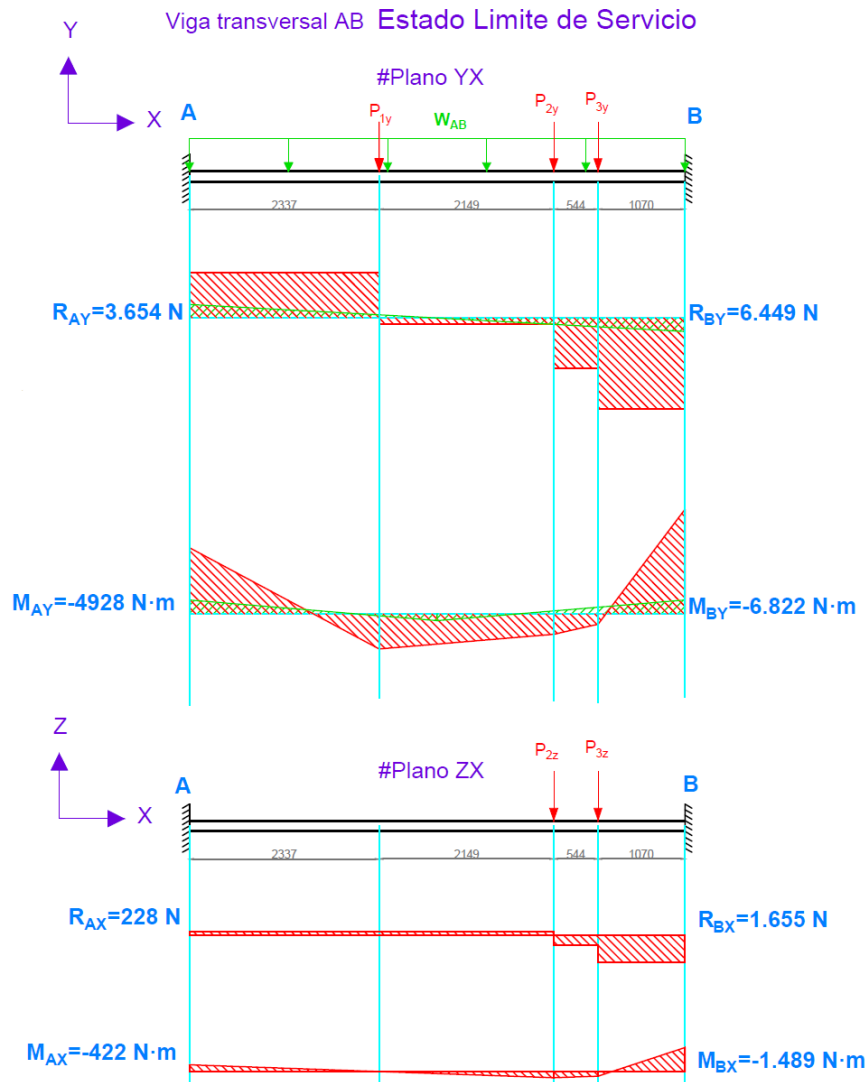


Imagen 31: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal AB en Estado Limite de Servicio

2.2.3. Deformaciones en la viga transversal AB en ELS

Para rematar nuestros cálculos de la viga transversal, es necesario conocer su deformación y ver si esta es excesiva para las tuberías que soporta. Ya que si tiene una deformación excesiva puede arrastrar las tuberías que sujeta y generarlas más tensiones, resultando más perjudicial que beneficiosa.

Vamos a calcular la deformación en el punto central de la viga, no será el punto concreto donde las deformaciones sean máximas, pero si estará muy muy cerca de este punto. De todas formas, estos cálculos también se realizarán mediante inventor.

- Deformaciones producidas por la carga repartida en el centro de la viga (3100mm) en dirección Y:

DEFORMACIONES EN EL PLANO YX						
$y_{AB} = \frac{-w_0 x^2}{24EI} (L-x)^2$	Y (mm)	W_{AB} (N/mm)	longitud	x (mm)	I_y (mm ⁴)	E(Pa)
	-0,41	0,363	6100	3050	15090000	210000

Tabla 45: deformaciones de la viga transversal AB en el plano YX por la carga repartida W_{AB}

$$\delta_{y_{wAB}} = -0,41mm$$

- Deformaciones producidas por las cargas puntuales en el centro de la viga (3100mm) en dirección Y:

DEFORMACIONES EN EL PLANO YX									
$y_{Ac} = \frac{-Pb^2x^2}{6EIL^3} (3aL - 3ax - bx)$	Yac (mm)	YCB (mm)	P_y (N)	I_y (mm ⁴)	E(Pa)	L(mm)	a(mm)	b(mm)	x(mm)
	-	-1,02	P1 3182	15090000	210000	6100	2337	3763	3050
$y_{Cb} = \frac{-Pa^2(L-x)^2}{6EIL^3} (3bx - aL + ax)$	-0,55	-	P2 2729	15090000	210000	6100	4486	1614	3050
	-0,27	-	P3 2516	15090000	210000	6100	5030	1070	3050
SUMATORIO	-1,84								

Tabla 46: deformaciones viga transversal AB en el plano YX por las cargas puntuales P1, P2 y P3

$$\delta_{y_{p1}} = -1,02mm$$

$$\delta_{y_{p2}} = -0,55mm$$

$$\delta_{y_{p3}} = -0,27mm$$

- o Deformación total en dirección Y:

$$\sum \delta_y = \delta_{y_{wAB}} + \delta_{y_{p1}} + \delta_{y_{p2}} + \delta_{y_{p3}} = -2,25mm = \delta_y$$

- Deformaciones producidas por las cargas puntuales en el centro de la viga (3100mm) en dirección z:

DEFORMACIONES EN EL PLANO ZX									
$y_{Ac} = \frac{-Pb^2x^2}{6EIL^3} (3aL - 3ax - bx)$	Yac(mm)	YCB(mm)	P_z (N)	I_z (mm ⁴)	E(Pa)	L(mm)	a(mm)	b(mm)	x(mm)
	-	0	P1 0	5500000	210000	6100	2337	3763	3050
$y_{Cb} = \frac{-Pa^2(L-x)^2}{6EIL^3} (3bx - aL + ax)$	-0,46	-	P2 819	5500000	210000	6100	4486	1614	3050
	-0,31	-	P3 1064	5500000	210000	6100	5030	1070	3050
SUMATORIO	-0,76								

Tabla 47: deformaciones viga transversal AB en el plano ZX por las cargas puntuales P2 y P3



$$\delta_{zP2} = -0,46mm$$

$$\delta_{zP3} = -0,31mm$$

- Deformación total en dirección Z:

$$\sum \delta_z = \delta_{zP2} + \delta_{zP3} = -0,76mm = \delta_z$$

Deformación total en el centro de la viga transversal AB:

$$\delta_{TOTAL} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} = 2,38 mm$$

CUMPLE la flecha máxima

Cumpliendo la flecha máxima permitida para el Rack, de 1/1000 impuesta por el promotor.
Desplazando en 6100mm solamente 2,38mm, generando una flecha de 1/2500 sobre la longitud total de la viga transversal AB.

(Sobredimensionamiento a la norma para limitar las deformaciones, no hay limitaciones para este tipo instalación)

3. Viga transversal CD

En este apartado vamos a estudiar la viga transversal CD que sostiene el peso y movimientos de cinco tuberías. Estos valores se han calculado con su simulación y estudio en CaePipe y están desarrollados en el anejo del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe".

Como en el apartado anterior donde se estudiaba la viga transversal AB, se van a realizar los mismos cálculos mediante superposición de esfuerzos, utilizando el mismo prontuario para vigas biempotradas que en las imágenes 25 y 26.

3.1. Cálculos viga transversal CD en Estado limite Ultimo

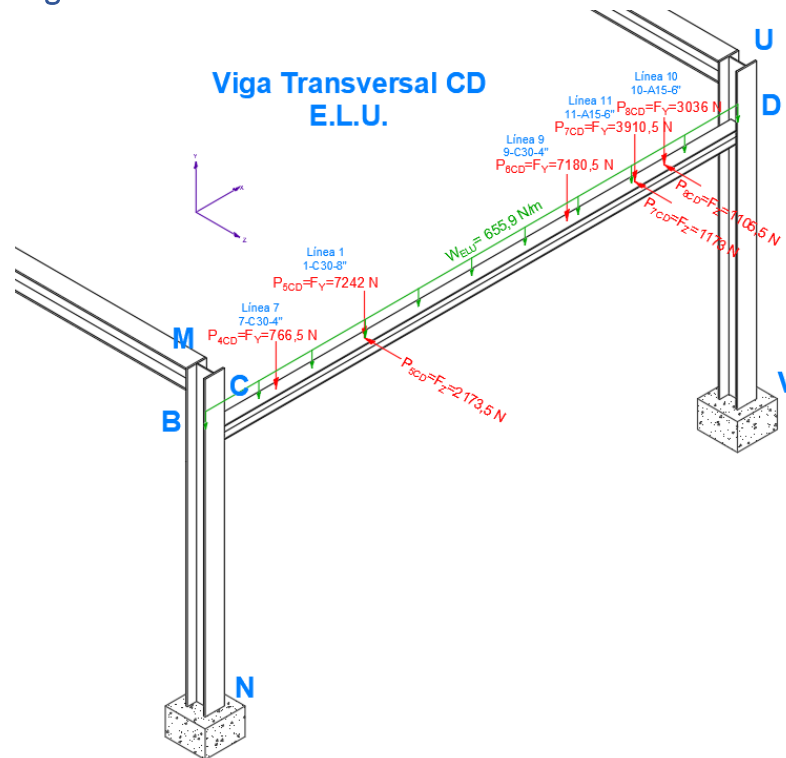


Imagen 32: representación de valores de carga para la viga transversal CD en ELU

3.1.1. Reacciones plano YX

$$R_C = \frac{F \cdot b^2}{L^3} (L + 2a)$$

$$R_D = \frac{F \cdot a^2}{L^3} (L + 2b)$$

Reacciones Cargas puntuales --> Plano YX								
Líneas	Cargas	a	b	P _y	L	R _{Cy}	R _{Dy}	
		(mm)	(mm)	(N)	(mm)	(N)	(N)	
7-C30-4	P4	811	5289	766,5	6100	729,5	37,0	
1-C30-8	P5	1825	4275	7242	6100	5685,2	1556,8	
9-C30-4	P6	4146	1954	7180,5	6100	1738,3	5442,2	
11-A15-6	P7	4924	1176	3910,5	6100	380,0	3530,5	
10-A15-6	P8	5261	839	3036	6100	156,5	2879,5	
R_{Cy}+R_{Dy}						R_{Cy}	R_{Dy}	R_{Cy}+R_{Dy}
22135,5						8689,5	13446,0	22135,5

Tabla 48: resultados reacciones producidas por cargas puntuales en plano YX



Fórmula empleada para calcular las reacciones producidas por la carga distribuida en los puntos C y D.

$$R_C = R_D = \frac{q \cdot L}{2}$$

Reacciones Carga distribuida --> Plano YX					
Carga	W	L	R _{CY}	R _{DY}	R _{CY} +R _{DY}
	N/m	m	(N)	(N)	(N)
W _{CD}	655,851	6,1	2000,34555	2000,34555	4000,7
W·L=R_{CY}+R_{DY}					
4000,7					

Tabla 49: resultados reacciones producidas por la carga distribuida en plano YX

Ahora sumamos las reacciones de los puntos C y D en el plano YX para obtener el resultado total.

R _{CY} (N)	R _{DY} (N)
10689,8	15446,4

Tabla 50: RESULTADO TOTAL de las reacciones en los puntos C y D en el plano YX

3.1.2. Reacciones plano ZX

Operamos igual que en el plano YX, calculando las reacciones con las mismas formulas.

Reacciones Cargas puntuales --> Plano ZX							
Líneas	Cargas	a	b	P _Z	L	R _{CY}	R _{DY}
		(mm)	(mm)	(N)	(mm)	(N)	(N)
7-C30-4	P4	811	5289	0	6100	0,0	0,0
1-C30-8	P5	1825	4275	2173,5	6100	1706,3	467,2
9-C30-4	P6	4146	1954	0	6100	0,0	0,0
11-A15-6	P7	4924	1176	1173	6100	114,0	1059,0
10-A15-6	P8	5261	839	1105,5	6100	57,0	1048,5
R_{CY}+R_{DY}							
4452							

Tabla 51: resultados parciales de las reacciones en el plano ZX por cargas puntuales

Sumando las reacciones en el plano ZX y en los puntos C y D, obtenemos el resultado total que se muestra a continuación.

R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CY} +R _{DY} (N)
1877,2	2574,8	4452,0

Tabla 52: resultado total de las reacciones en los puntos C y D en el plano ZX

3.1.3. Momentos en el plano YX

Para calcular los momentos que producen las cargas puntuales en los puntos C y D, utilizaremos las fórmulas del prontuario:

$$M_C = -\frac{F \cdot a \cdot b^2}{L^2}$$

$$M_D = -\frac{F \cdot b \cdot a^2}{L^2}$$

$$M_{C'} = -\frac{2F \cdot a^2 \cdot b^2}{L^3}$$

Momentos producidos por las Cargas puntuales --> Plano YX								
Líneas	Cargas	a	b	P _y	L	M _{CX}	M _{DX}	M _{C'X}
		(m)	(m)	(N)	(m)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
7-C30-4	P4	0,811	5,289	766,5	6,1	-467,3	-71,7	124,3
1-C30-8	P5	1,825	4,275	7242	6,1	-6491,3	-2771,2	3884,2
9-C30-4	P6	4,146	1,954	7180,5	6,1	-3054,7	-6481,5	4152,4
11-A15-6	P7	4,924	1,176	3910,5	6,1	-715,7	-2996,5	1155,4
10-A15-6	P8	5,261	0,839	3036	6,1	-302,2	-1894,7	521,2
						M_{CX}	M_{DX}	
						-11031,2	-14215,6	

Tabla 53: resultados de los momentos producidos por las cargas puntuales en el plano YX

Para calcular los momentos que produce la carga distribuida sobre los puntos C y D, utilizamos la siguiente formula:

$$M_C = M_D = -\frac{q \cdot L^2}{12}$$

Momentos producidos por la carga distribuida --> Plano YX				
Carga	W	L	M _{CX}	M _{DX}
	N/m	m	(N·m)	(N·m)
W _{CD}	655,851	6,1	-2033,7	-2033,7

Tabla 54: resultados de los momentos producidos por la carga distribuida en el plano YX

Para obtener los momentos totales del plano YX para los puntos C y D, sumamos los resultados anteriores obteniendo el resultado total:

M _{CX} (N·m)	M _{DX} (N·m)
-13064,9	-16249,2

Tabla 55: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos C y D en el plano YX



3.1.4. Momentos en el plano ZX

Realizamos las mismas operaciones que para el plano YX, sustituyendo la magnitud de la carga por la que se encuentran en este plano.

Momentos producidos por las Cargas puntuales --> Plano ZX								
Líneas	Cargas	a	b	P _z	L	M _{CY}	M _{DY}	M _{CY}
		(m)	(m)	(N)	(m)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
7-C30-4	P4	0,811	5,289	0	6,1	0,0	0,0	0,0
1-C30-8	P5	1,825	4,275	2173,5	6,1	-1948,2	-831,7	1165,7
9-C30-4	P6	4,146	1,954	0	6,1	0,0	0,0	0,0
11-A15-6	P7	4,924	1,176	1173	6,1	-214,7	-898,8	346,6
10-A15-6	P8	5,261	0,839	1105,5	6,1	-110,0	-689,9	189,8

Tabla 56: resultados parciales de los momentos en el plano ZX por cargas puntuales

Sumando todos los valores para los diferentes puntos C y D en el plano ZX, obtenemos los siguientes resultados totales

M _{CY} (N·m)	M _{DY} (N·m)
-2272,9	-2420,4

Tabla 57: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos C y D en el plano ZX

3.1.5. Resultados totales

REACCIONES EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CZ} (N)	R _{DZ} (N)
8689,48572	13446,0143				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CZ} (N)	R _{DZ} (N)
1637,7585	1637,7585	10689,83	15446,36	1877,234	2574,766

Tabla 58: resultados totales con las reacciones de la viga transversal CD en ELU

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
MOMENTOS PLANO YX				MOMENTOS PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CY} (N)	M _{DY} (N)
-11031,2106	-				
	2033,68464				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CY} (N)	M _{DY} (N)
-2033,68464	-	-13064,9	-16249,2	-2272,9	-2420,45
	2033,68464				

Tabla 59: resultados totales con los momentos de la viga transversal CD en ELU

3.1.6. Diagramas de la viga transversal CD en ELU

Diagrama con las reacciones y momentos ejercidos por las cargas puntuales (en rojo) y por la carga distribuida (en verde) en los diferentes planos XY e ZX. Los valores en azul son los totales.

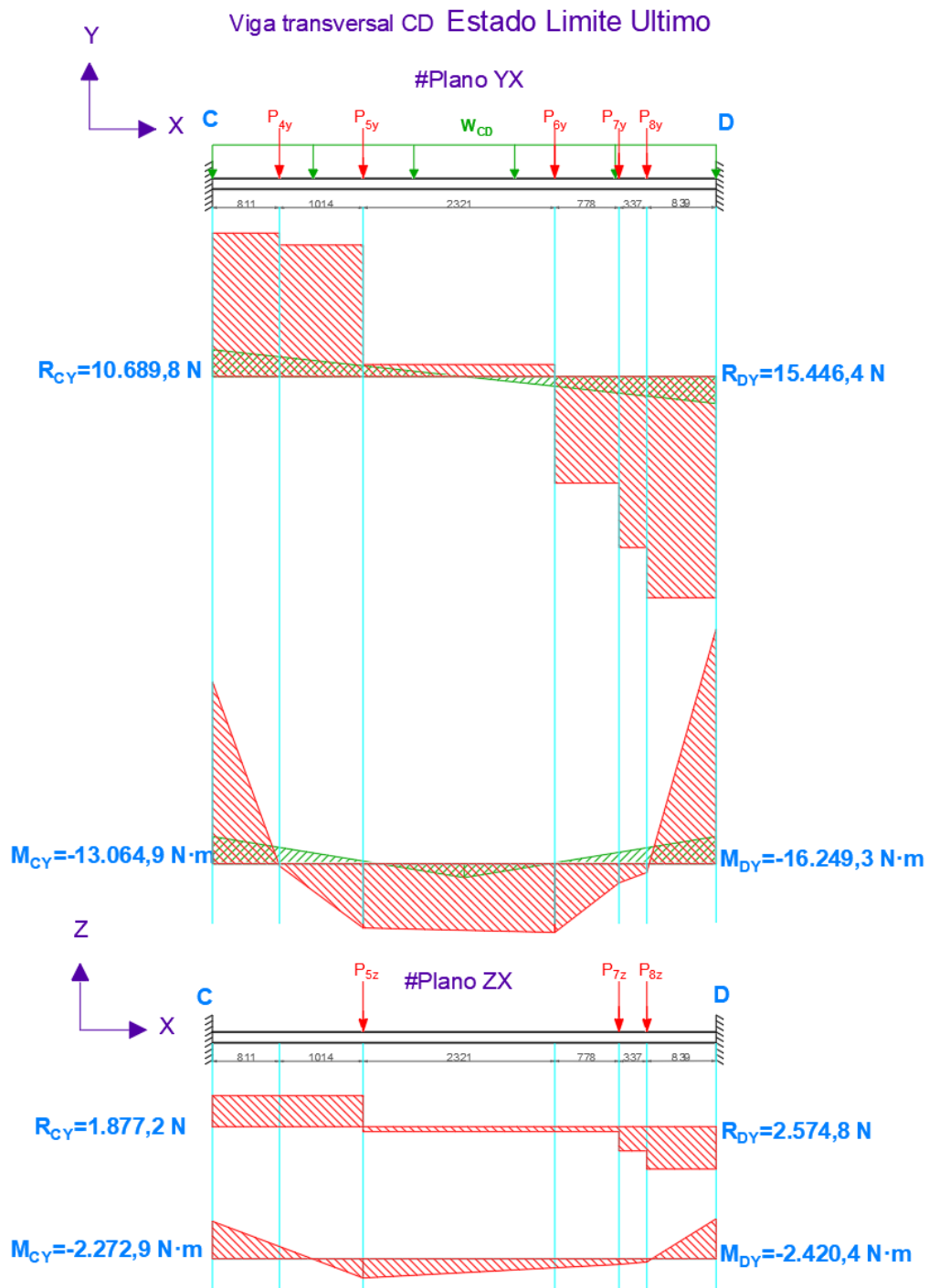


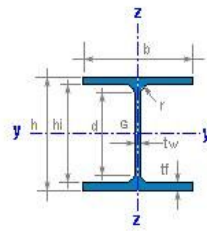
Imagen 33: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal CD en Estado Limite ultimo

3.1.7. Dimensionamiento viga transversal CD

Todas las vigas transversales se van a fabricar con el mismo perfil. Por lo que si la viga transversal AB se va a construir con un perfil HEB-140, habrá que comprobar que este perfil cumpla para la viga transversal CD que tiene valores más desfavorables que su vecina la viga transversal AB.

Como se ha comentado, el perfil elegido es un HEB-140 fabricado en acero S-275, con las propiedades que se muestran a continuación:

HEB 140



h = 140 mm	r = 12 mm
b = 140 mm	d = 92.0 mm
tw = 7.0 mm	hi = 116.0 mm
tf = 12.0 mm	

A = 43.0 cm ²	M = 33.7 kg/m
--------------------------	---------------

I _y = 1509 cm ⁴	I _z = 550 cm ⁴
W _y = 215.6 cm ³	W _z = 78.5 cm ³
W _{ply} = 245.4 cm ³	W _{plz} = 119.8 cm ³
i _y = 5.93 cm	i _z = 3.58 cm
I _t = 20.2 cm ⁴	I _w = 22514 cm ⁶

S _y = 122.7 cm ³	A _{vz} = 13.08 cm ²
s _y = 12.3 cm	

AL = 0.805 m ² /m	AG = 23.88 m ² /t
------------------------------	------------------------------

Imagen 34: valores del perfil HEB-140 para vigas transversales

3.1.7.1. Verificación de secciones a flexión

Para el dimensionamiento de la viga transversal CD, vamos a seguir el CTE SE-A apartado 6.2.6. "Resistencia de las secciones a flexión".

$$W_{ned} = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{f_{yf}} = \frac{16,25 \text{ kNm}}{\frac{275}{1,05}} = 62.043 \text{ mm}^3$$

$$W_{ned} = 62.043 \text{ mm}^3 \ll W_{yHEB140} = 215.600 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{Adm} = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{W_{yHEB140}} = \frac{16,25 \text{ kNm}}{215.600 \text{ mm}^3} = 75,37 \text{ Mpa}$$

3.1.7.2. Verificación a sección

Y también lo comprobaremos según el apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones"

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{15.446,4 \text{ N}}{4.300 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{16.250.000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2156000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{2.420.000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{785000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,05 \ll 1$$

3.1.7.3. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas

La última comprobación es a esfuerzos combinados según el CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados", según fórmula 6.52 del código técnico:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Para poder realizar esta comprobación, es necesario conocer primero el coeficiente de pandeo en cada eje. Estos valores se calcularon en el apartado "2.1.7.3.1. Comprobación a pandeo" de este mismo documento y son:

- Comprobación a pandeo en X $\chi_x = 0,85$
- Comprobación a pandeo en Z $\chi_z = 0,55$
- **Valores necesarios para la verificación a interacciones de esfuerzos en la pieza:**

$$N_{Ed} = 15,45 kN$$

$$M_{yMáx} = M_{xMáx} = 16,25 kNm$$

$$M_{zMáx} = 2,42 kNm$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,006$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,034$$

$$\chi_x = 0,85 \quad \chi_z = 0,55$$

$$Area_{HEB140} = 4300 mm^2$$

$$W_{YHEB140} = 2,156 \cdot 10^6 mm^3$$

$$W_{ZHEB140} = 0,785 \cdot 10^6 mm^3$$

$$c_{mz} = 0,6 \quad c_{my} = 0,9$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{15,446 \cdot 10^3}{0,55 \cdot 4300 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,006 \cdot \frac{0,9 \cdot 16,25 \cdot 10^6}{2,156 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,034 \cdot \frac{0,6 \cdot 2,42 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,053$$

$$0,053 \ll 1$$

3.1.7.4. Comprobación a Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 4,32 MPa$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 MPa$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 206,82 MPa$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 1,97 MPa$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 11,23 MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$205,7 MPa < 275 MPa = f_{yd}$$

Cumpliendo todas las verificaciones planteadas por el código técnico, junto con la viga transversal AB, queda demostrado su idoneidad para nuestro proyecto.

3.2. Cálculos viga transversal CD en Estado Límite de Servicio

Se va a calcular la viga transversal CD en condiciones de estado límite de servicio calculadas en el apartado "1.2.4.2.1. Hipotesis 1". Con estos cálculos obtenemos la deformación máxima de la viga transversal CD de manera analítica. Para comprobar que no realice una deformación excesiva que genere en las tuberías que soporta, tensiones por este desplazamiento. Los cálculos se realizarán de la misma forma que para el estado límite último.

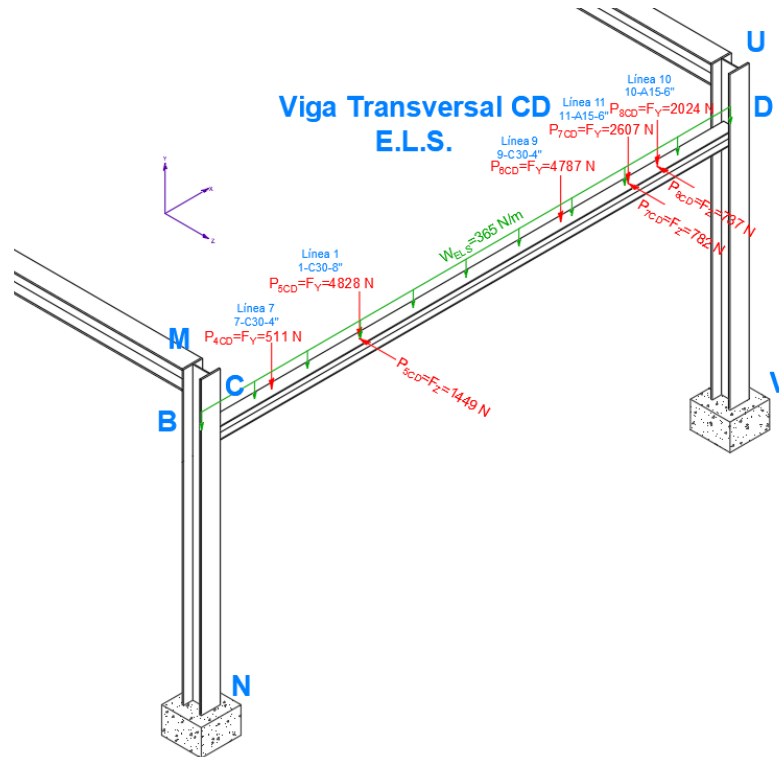


Imagen 35: representación gráfica de valores de carga para la viga transversal CD en ELS

3.2.1. Resultados totales

REACCIONES EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CY} (N)	R _{DY} (N)	R _{CY} (N)	R _{DY} (N)
5792,99048	8964,00952				
Carga distribuida		6906,423	10077,44	1251,49	1716,51
R _{CY} (N)	R _{DY} (N)				
1113,433	1113,433				

Tabla 60: resultados totales de las reacciones de la viga transversal CD en ELS

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
MOMENTOS PLANO YX				MOMENTOS PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CX} (N)	M _{DX} (N)	M _{CY} (N)	M _{DY} (N)
-7354,14042	-9477,0435				
Carga distribuida		-8486,13	-10609	-1515,27	-1613,63
M _{CX} (N)	M _{DX} (N)				
-1131,99022	-1131,99022				

Tabla 61: resultados totales con los momentos de la viga transversal CD en ELS

3.2.2. Diagramas de la viga transversal CD en ELS

En rojo encontramos las reacciones y momentos generados por las cargas puntuales, mientras que en verde las reacciones y momentos generados por la carga repartida.

Los resultados mostrados en azul son la suma de ambos valores.

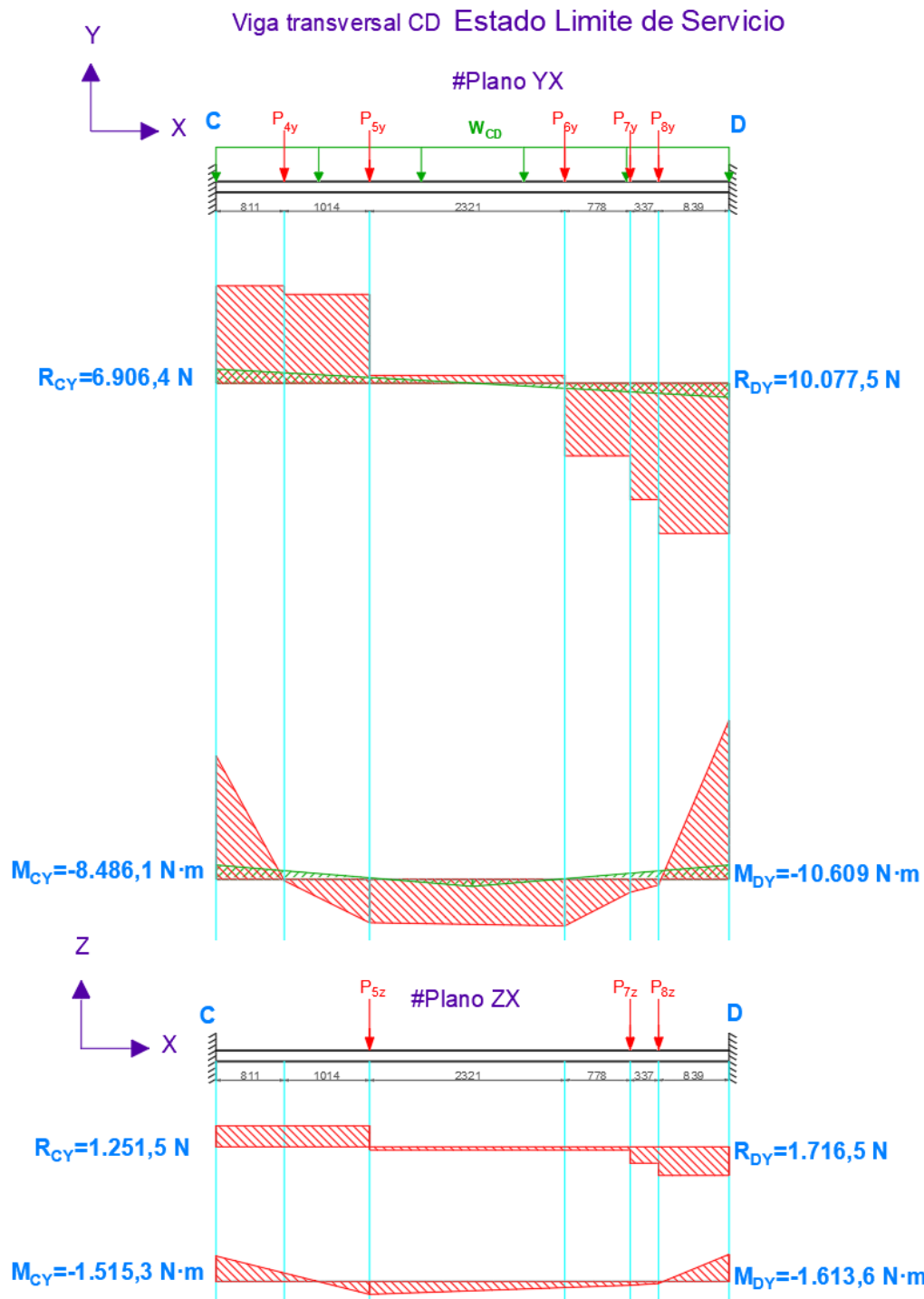


Imagen 36: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal CD en Estado Limite de Servicio

3.2.3. Deformaciones en la viga transversal CD en ELS

es necesario conocer la deformación de la viga transversal CD y ver si esta es excesiva para las tuberías que soporta.

Vamos a calcular la deformación en el punto central de la viga, no será el punto concreto donde las deformaciones sean máximas, pero sí estará muy muy cerca de este punto. De todas formas, estos cálculos también se realizarán mediante inventor.

- Deformaciones producidas por la carga repartida en el centro de la viga (3100mm) en dirección Y:

DEFORMACIONES EN EL PLANO YX						
$y_{AB} = \frac{-w_0 x^2}{24EI} (L-x)^2$	Y (mm)	W _{AB} (N/mm)	longitud	x (mm)	I _y (mm ⁴)	E(Pa)
	-0,41	0,363	6100	3050	15090000	210000

Tabla 62: deformaciones de la viga transversal CD en el plano YX por la carga repartida W_{CD}

$$\delta_{y_{wCD}} = -0,41mm$$

- Deformaciones producidas por las cargas puntuales en el centro de la viga (3100mm) en dirección Y:

DEFORMACIONES EN EL PLANO YX									
$y_{AC} = \frac{-Pb^2 x^2}{6EIL^3} (3aL - 3ax - bx)$	Y _{ac} (mm)	Y _{CB} (mm)	Py(N)	I _y (mm ⁴)	E(Pa)	L(mm)	a(mm)	b(mm)	x(mm)
	-	-0,03	P4 511	15090000	210000	6100	811	5289	3050
$y_{CB} = \frac{-Pa^2 (L-x)^2}{6EIL^3} (3bx - aL + ax)$	-	-1,16	P5 4828	15090000	210000	6100	1825	4275	3050
	-1,26	-	P6 4787	15090000	210000	6100	4146	1954	3050
	-0,32	-	P7 2607	15090000	210000	6100	4924	1176	3050
	-0,14	-	P8 2024	15090000	210000	6100	5261	839	3050
SUMATORIO	-2,92								

Tabla 63: deformaciones v.transversal CD en el plano YX por cargas puntuales P4,P5,P6, P7 y P8

$$\delta_{y_{P4}} = -0,03mm$$

$$\delta_{y_{P5}} = -1,16mm$$

$$\delta_{y_{P6}} = -1,26mm$$

$$\delta_{y_{P7}} = -0,32mm$$

$$\delta_{y_{P8}} = -0,14mm$$

- o Deformación total en dirección Y en el centro de la viga transversal CD:

$$\sum \delta_y = \delta_{y_{wCD}} + \delta_{y_{P4}} + \delta_{y_{P5}} + \delta_{y_{P6}} + \delta_{y_{P7}} + \delta_{y_{P8}} = -3,33mm = \delta_y$$

- Deformaciones producidas por las cargas puntuales en el centro de la viga (3100mm) en dirección z:

DEFORMACIONES EN EL PLANO ZX										
	Y _{AC} (mm)	Y _{CB} (mm)	P _z (N)		I _z (mm ⁴)	E(Pa)	L(mm)	a(mm)	b(mm)	x(mm)
$y_{AC} = \frac{-Pb^2x^2}{6EIL^3}(3aL - 3ax - bx)$	-	0	P4	0	5500000	210000	6100	811	5289	3050
	-	-0,96	P5	1449	5500000	210000	6100	1825	4275	3050
	0	-	P6	0	5500000	210000	6100	4146	1954	3050
$y_{CB} = \frac{-Pa^2(L-x)^2}{6EIL^3}(3bx - aL + ax)$	-0,27	-	P7	782	5500000	210000	6100	4924	1176	3050
	-0,14	-	P8	737	5500000	210000	6100	5261	839	3050
SUMATORIO	-1,36									

Tabla 64: deformaciones v.transversal CD en el plano ZX por cargas puntuales P4,P5,P6, P7 y P8

$$\delta_{zP5} = -0,96mm$$

$$\delta_{zP7} = -0,27mm$$

$$\delta_{zP8} = -0,14mm$$

- o Deformación total en dirección Z:

$$\sum \delta_z = \delta_{zP5} + \delta_{zP7} + \delta_{zP8} = -1,36mm = \delta_z$$

Deformación total en el centro de la viga transversal CD:

$$\delta_{TOTAL} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} = 3,60 mm$$

CUMPLE la flecha máxima

Cumpliendo la flecha máxima permitida para el Rack, de 1/1000 impuesta por el promotor. Desplazando en 6100mm solamente 3,60mm, generando una flecha de alrededor a 1/1700 sobre la longitud total de la viga transversal CD.

4. Pórtico

Nuestro modelo consta de tres pórticos iguales. Se calculará uno que valdrá de modelo para el resto.

En este apartado, primero se dimensionará el dintel del pórtico (en Estado Limite Ultimo), y los pilares habrá que calcularlos independientemente ya que las vigas transversales les transmiten esfuerzos y momentos. Y en segundo lugar se calculará como deforma el dintel en Estado Limite de Servicio.

Se van a dimensionar el pórtico (dintel + pilares) con un HEB 220 S-275.

Los cálculos se realizarán de forma manual mediante el método de Cross paso a paso tal y como se ha estudiado en la escuela.

4.1. Pórtico tipo Estado Limite Ultimo ELU

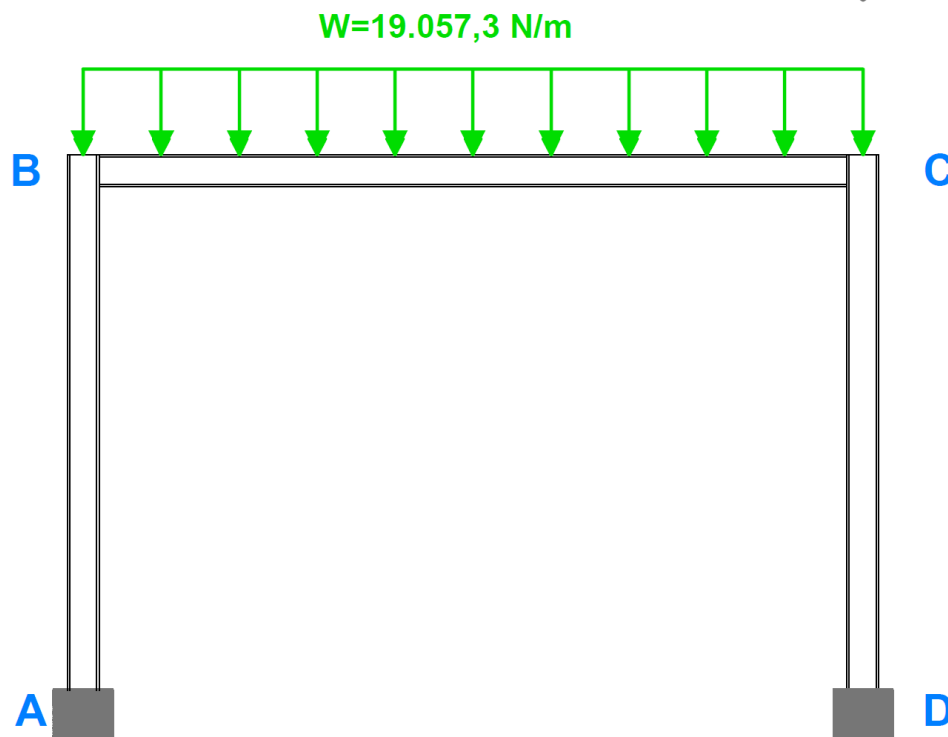


Imagen 37: representación del pórtico en ELU

- **Coefficiente de rigidez relativa en cada barra ELU**

Como los perfiles del dintel y los pilares es el mismo, $I=1$

$$K = 1 \cdot \frac{I}{L}$$

$I = 1 \rightarrow$ Mismo perfil pilares y dintel

$$k_{AB} = k_{CD} = \frac{1}{3,658} = 0,273$$

$$k_{BC} = \frac{1}{4,877} = 0,205$$

- **Coefficiente de reparto ELU**

$$\rho_{AB} = \rho_{CD} = \frac{K_{AB}}{K_{AB} + K_{CD}} = 0,57 = 4/7 = \rho_{AB} = \rho_{CD}$$

$$\rho_{BC} = \frac{K_{BC}}{K_{BC} + K_{AB}} = 0,43 = 3/7 = \rho_{BC}$$

- **Cálculo del momento de Cross ELU**

Este momento lo encontramos en tablas y corresponde a una viga biempotrada.

$$M_B = -M_C = \frac{P \cdot l^2}{12} = 37,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- **Tabla de Cross ELU**

	A	BA	BC	CB	CD	D
ρ	-	4/7	3/7	3/7	4/7	-
Mo	-		37,8	-37,8		-
1R		-21,58	-16,19	16,19	21,58	
1T	-10,79		8,09	-8,09		10,79
2R		-4,63	-3,47	3,47	4,63	
2T	-2,31		1,73	-1,73		2,31
3R		-0,99	-0,74	0,74	0,99	
3T	-0,50		0,37	-0,37		0,50
4R		-0,21	-0,16	0,16	0,21	
4T	-0,11		0,08	-0,08		0,11
5R		-0,05	-0,03	0,03	0,05	
Mc	-13,71	-27,46	27,46	-27,46	27,46	13,71
	$M_A(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{BA}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{BC}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{CB}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{CD}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_D(\text{kN}\cdot\text{m})$
	-13706,5	-27458,6	27458,6	-27458,6	27458,6	13706,5
	$M_A(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{BA}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{BC}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{CB}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{CD}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_D(\text{N}\cdot\text{m})$

Tabla 65: tabla de Cross del pórtico en ELU

- **Cálculo de cortantes ELU**

$$Q_{in} = Q_0 + \left(-\frac{M_{in} + M_{ni}}{L_{in}} \right)$$

$$Q_0 = \left(\frac{19,057 \text{ kN/m} \cdot 4,877\text{m}}{2} \right) = 44,37$$

$Q_{AB} =$	11,25 kN	<--
$Q_{BA} =$	11,25 kN	-->
$Q_{BC} =$	44,37 kN	^^
$Q_{CB} =$	44,37 kN	^^
$Q_{CD} =$	-11,25 kN	<--
$Q_{DC} =$	-11,25 kN	-->

Tabla 66: valores de cortantes para cada punto en ELU

- Diagrama cortantes ELU

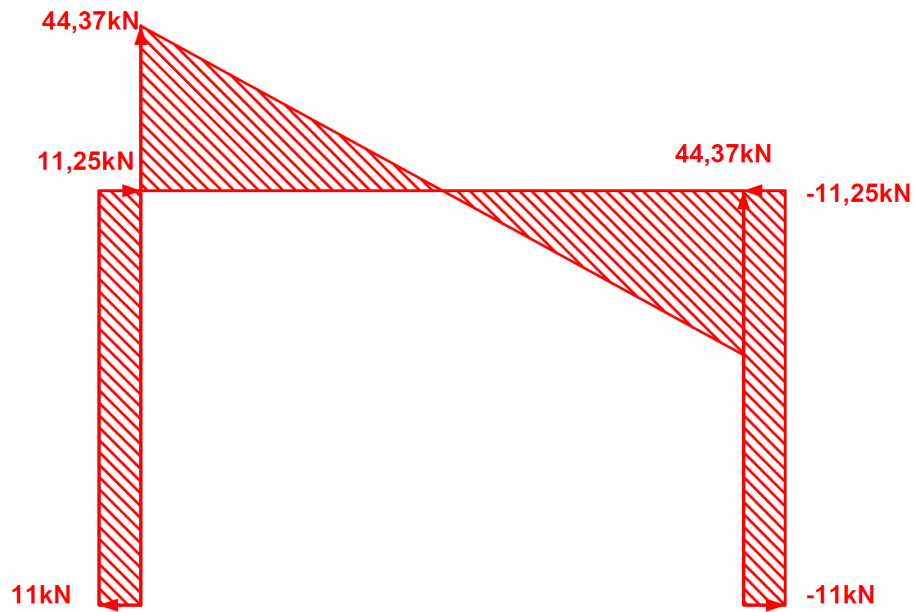


Imagen 38: diagrama cortantes pórtico ELU

- Diagrama momentos ELU

$$M_{M\acute{a}x} = Q_{BA} \cdot x - \frac{w_{Portico} \cdot x^2}{2} - M_{BA}$$

$$M_{M\acute{a}x} = 44,37kN \cdot x - \frac{19,057kN \cdot m \cdot x^2}{2} - 27,46kN \cdot m$$

$$M_{M\acute{a}x} = 24,2 kN \cdot m$$

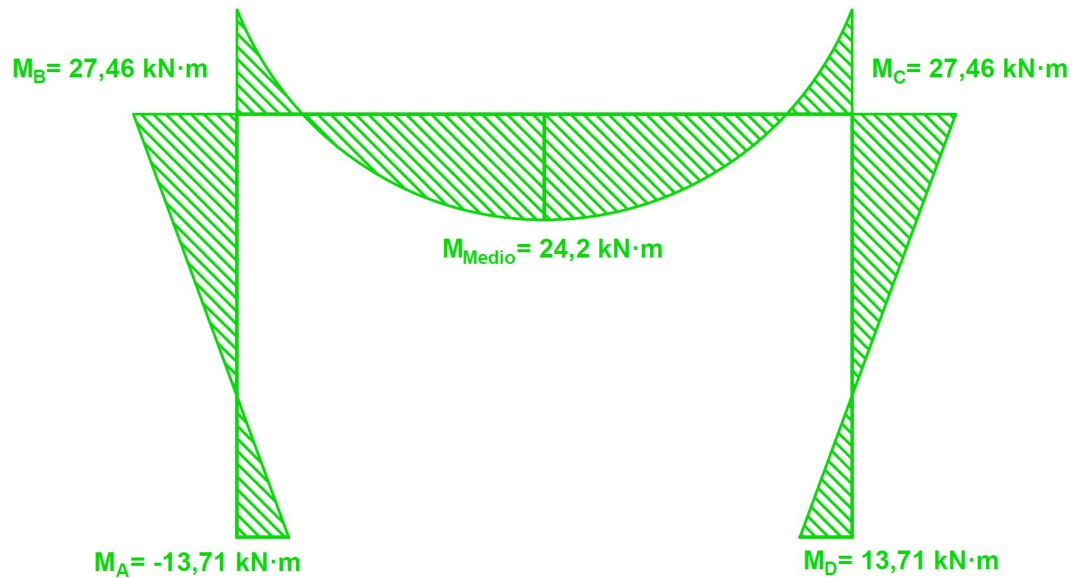


Imagen 39: diagrama momentos pórtico ELU

4.1.1. Dimensionamiento dintel

Según el código técnico SE-A apartado 6.2.6 "Resistencia de las secciones a flexión", para comprobar las secciones expuestas a flexión, se utilizarán las siguientes formulas.

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$$

$$W_{ned} = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{f_{yf}} = \frac{27,46 \text{ kNm}}{\frac{275}{1,05}} = 104.847 \text{ mm}^4$$

$$W_{ned} = 104.847 \text{ mm}^4 \ll W_{yHEB220} = 735.600 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{Adm} = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{W_{yHEB220}} = \frac{27,46 \text{ kNm}}{735.600 \text{ mm}^4} = 37,3 \text{ MPa}$$

4.1.1.1. Verificación a sección

La siguiente comprobación es para averiguar cuál es la sección más desfavorable, para ello seguiremos el apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones", y compararemos el dintel con los pilares.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

- Pilar:

$$\frac{44370 \text{ N}}{9100 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-13.710.000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{7356000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{0 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2585000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,012 \ll 1$$

- Dintel:

$$\frac{11250 \text{ N}}{9100 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{27.460.000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{7356000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{0 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2585000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,019 \ll 1$$

$$Pilar = 0,012 < Dintel = 0,019 \ll 1$$

4.1.1.2. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas

La última comprobación es a esfuerzos combinados según el CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados", según formula 6.52 del código técnico:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Para poder realizar esta comprobación, es necesario conocer primero el coeficiente de pandeo en cada eje:



4.1.1.2.1. Comprobación a pandeo dintel

- Comprobación a pandeo en X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 80,91 \cdot 10^6}{(4877 \cdot 0,5)^2} = 28,2 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{28,2 \cdot 10^6}} = 0,3 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva B}} > \chi_x = 0,95$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{9100 \cdot 275 \cdot 0,95}{1,05} = 2.264,2 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{2,264 \cdot 10^6}{1,5} = 1509,4 \cdot 10^3 N = 1509 kN$$

- Comprobación a pandeo en Z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 28,43 \cdot 10^6}{(4877 \cdot 0,5)^2} = 9,9 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{9,9 \cdot 10^6}} = 0,5 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} > \chi_x = 0,85$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{9100 \cdot 275 \cdot 0,85}{1,05} = 2.025,8 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{2,026 \cdot 10^6}{1,5} = 1350,56 \cdot 10^3 N = 1351 kN$$

- Valores necesarios para la verificación a interacciones de esfuerzos en el dintel:

$$N_{Ed} = 11,25 kN$$

$$M_{yM\acute{a}x} = M_{xM\acute{a}x} = 27,46 kNm$$

$$M_{zM\acute{a}x} = 0 kNm$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,00$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,002$$

$$\frac{11,253 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,00 \cdot \frac{0,4 \cdot 27,46 \cdot 10^6}{7,356 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,01$$

$$\chi_x = 0,95 \quad \chi_z = 0,85$$

$$Area_{HEB220} = 9100 mm^2$$

$$W_{YHEB 220} = 7,356 \cdot 10^6 mm^3$$

$$W_{ZHEB 220} = 2,585 \cdot 10^6 mm^3$$

$$c_{mz} = 1 \quad c_{my} = 0,4$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$0,01 \ll 1$$

4.1.1.3. Comprobación a Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 23,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 0,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$25,11 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

Cumpliendo todas las verificaciones planteadas por el código técnico, queda demostrado su idoneidad para nuestro proyecto.

El perfil HEB-220 cumple sobradamente los requisitos del código técnico para ser utilizado como dintel en nuestro proyecto.

4.2. Pórtico estado límite de Servicio ELS

Ahora se va a calcular el pórtico en estado límite de servicio para comprobar que la deformación en el dintel no supere los límites establecidos por el código técnico.

Según los cálculos realizados anteriormente, y que se muestran en el apartado "1.2.2.2.1. Hipótesis 1", la carga repartida sobre el dintel será de 10.746,7 N/m

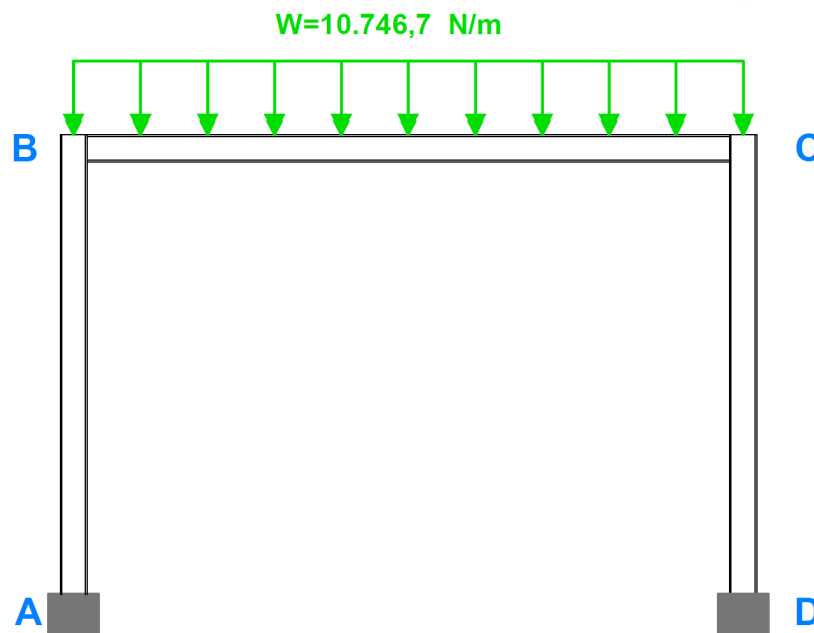


Imagen 40: representación del pórtico en ELS

Los coeficientes de rigidez relativa y los coeficientes de reparto se mantienen iguales para los diferentes estados límites del pórtico. Es el cálculo del momento de Cross, que al ser diferente la cara del pórtico, será diferente.

- Cálculo del momento de Cross ELS

$$M_B = -M_C = \frac{P \cdot l^2}{12} = 21,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Tabla de Cross ELS

	A	BA	BC	CB	CD	D
ρ	-	4/7	3/7	3/7	4/7	
Mo	-		21,3	-21,3		-
1R		-12,17	-9,13	9,13	12,17	
1T	-6,09		4,56	-4,56		6,09
2R		-2,61	-1,96	1,96	2,61	
2T	-1,30		0,98	-0,98		1,30
3R		-0,56	-0,42	0,42	0,56	
Mc	-7,39	-15,34	15,34	-15,34	15,34	7,39
	$M_A(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{BA}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{BC}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{CB}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_{CD}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_D(\text{kN}\cdot\text{m})$
	-7390	-15339	15339	-15339	15339	7390
	$M_A(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{BA}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{BC}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{CB}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_{CD}(\text{N}\cdot\text{m})$	$M_D(\text{N}\cdot\text{m})$

Tabla 67: tabla de Cross del pórtico en ELS

- Cálculo de cortantes ELS

$Q_{AB} =$	6,21	kN	<--
$Q_{BA} =$	6,21	kN	-->
$Q_{BC} =$	26,21	kN	^^
$Q_{CB} =$	26,21	kN	^^
$Q_{CD} =$	-6,21	kN	<--
$Q_{DC} =$	-6,21	kN	-->

Tabla 68: valores de cortantes para cada punto en ELS

- Diagrama cortantes ELS

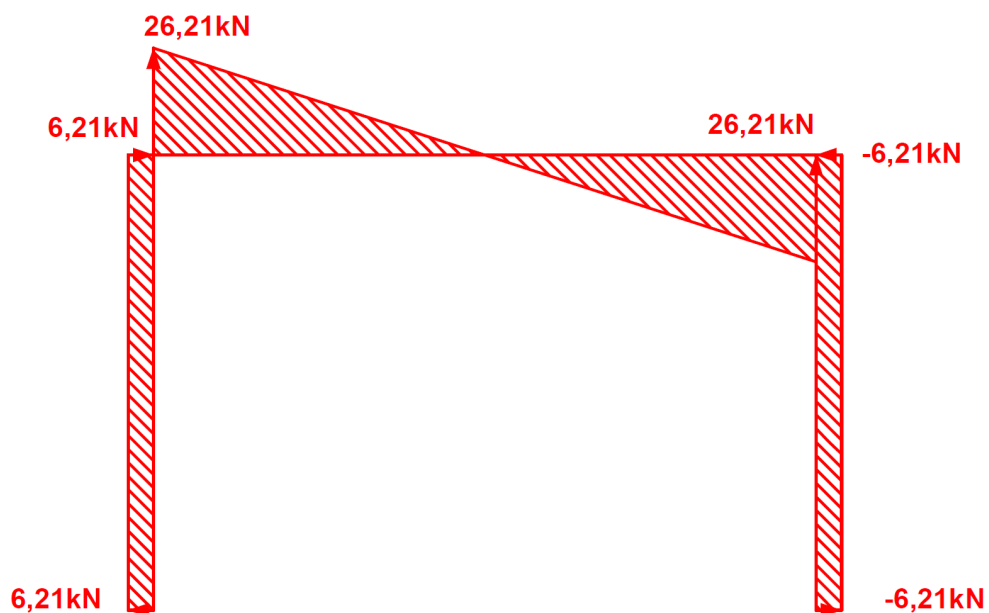


Imagen 41: diagrama cortantes pórtico ELS

- Diagrama momentos ELS

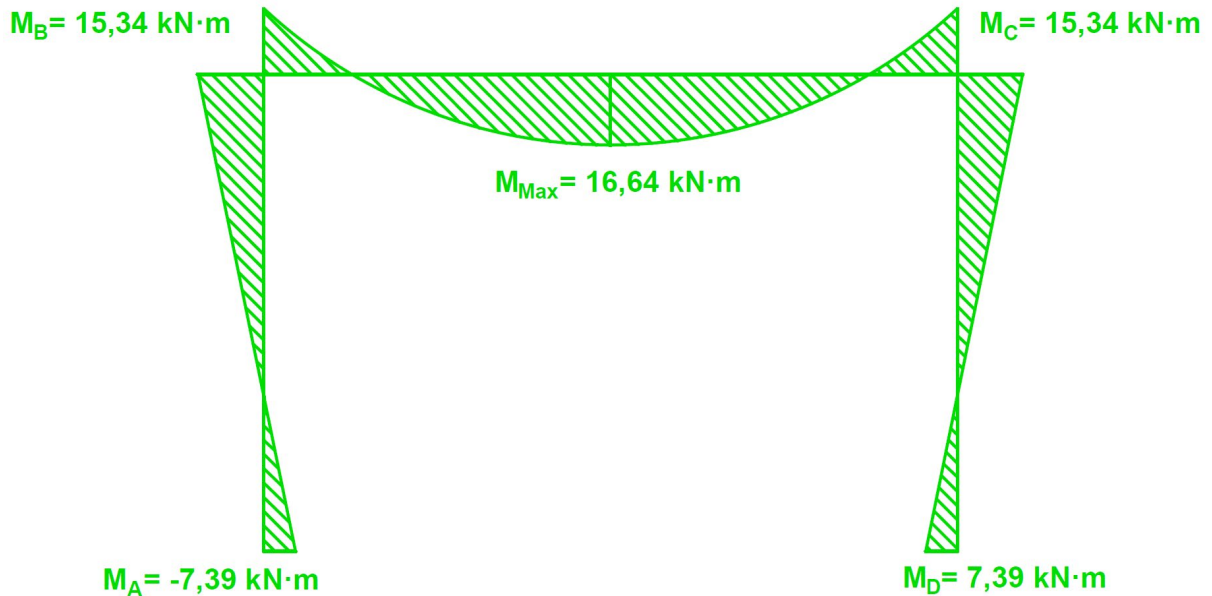


Imagen 42: diagrama momentos pórtico ELS

4.2.1. Deformaciones en el dintel

Las deformaciones en el elemento se calculan siempre en estado límite de servicio. En este caso se ha calculado la deformación sobre el centro del dintel ($X=2438,5\text{mm}$) donde se encuentra el mayor momento de cálculo $M_{\text{MÁX}} = 16,64 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

Para la deformación se ha utilizado la formula que se muestra a continuación y los resultados se muestran en la tabla 69.

$$y = \frac{-P \cdot x^2}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3L - 4x)$$

DEFORMACIONES EN EL PLANO YX						
Yac (mm)		P (N)	Iy (mm ⁴)	E	L(mm)	x(mm)
-1,864	W*L	52427,75	80910000	210000	4877	2438,5

Tabla 69: deformaciones en el centro del dintel del pórtico en ELS

Deformación máxima en el dintel:

$$\delta_{\text{TOTAL}} = 1,864 \text{ mm}$$

CUMPLE la flecha máxima

Cumple con la flecha impuesta de 1/1000 deformando únicamente 1,864mm en 4877mm que mide el dintel, generando una flecha de 1/2600. Estando lejos del límite. El pórtico se ha sobredimensionado pensando en una posible ampliación del rack en unos años. También se ha utilizado el perfil HEB-220 para mantener la homogeneidad en todo el Rack.

5. Pilar HI

El pilar HI es el primer pilar para estudiar. Se encuentra arriostrado por la viga transversal AB por un lado, y por una viga transversal de la misma forma pero sin estar cargada.

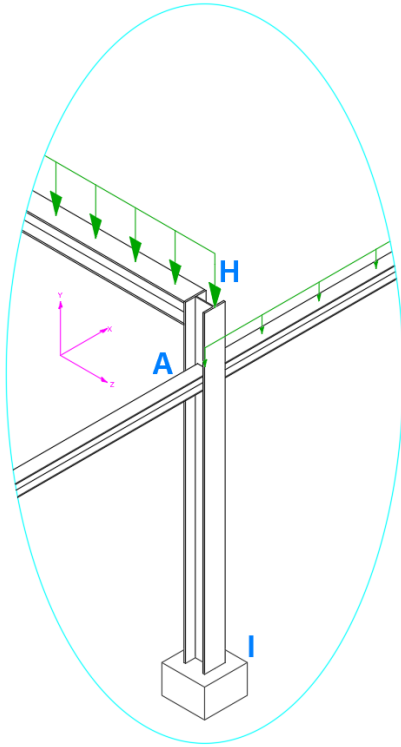


Imagen 43: representación gráfica del pilar HI

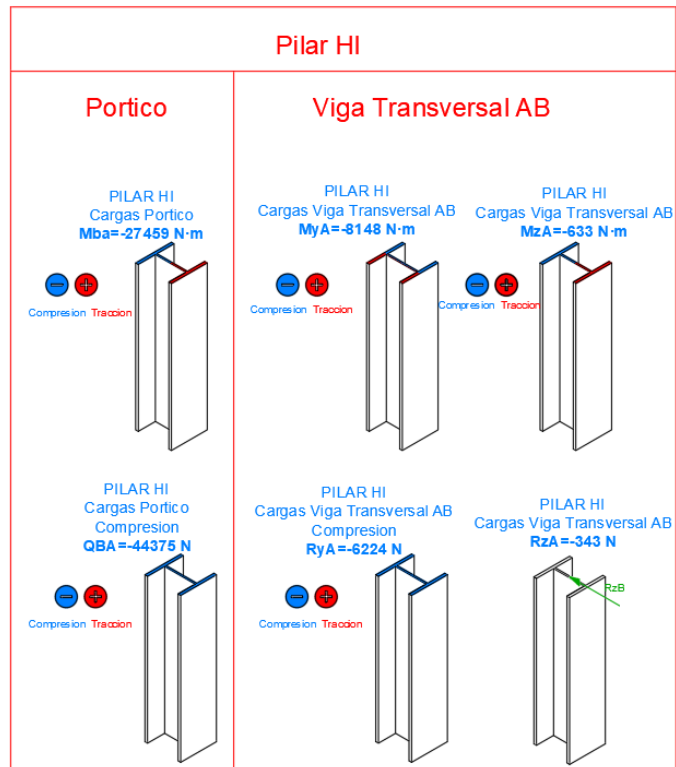


Imagen 44: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto H y por la viga transversal AB en el punto A

Antes de comenzar con los cálculos y verificaciones del perfil, se van a mostrar los diagramas de axiales y momentos correspondientes a cada carga que influye en el pilar HI.

5.1. Diagrama momentos y reacciones pilar HI

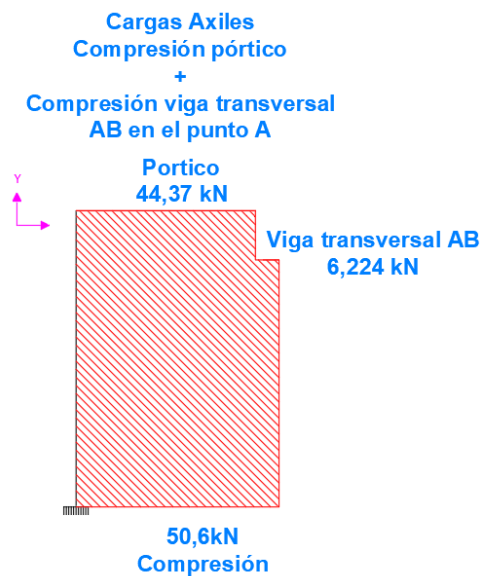


Imagen 45: diagrama axiales compresión pórtico + viga transversal AB en punto A en ELU

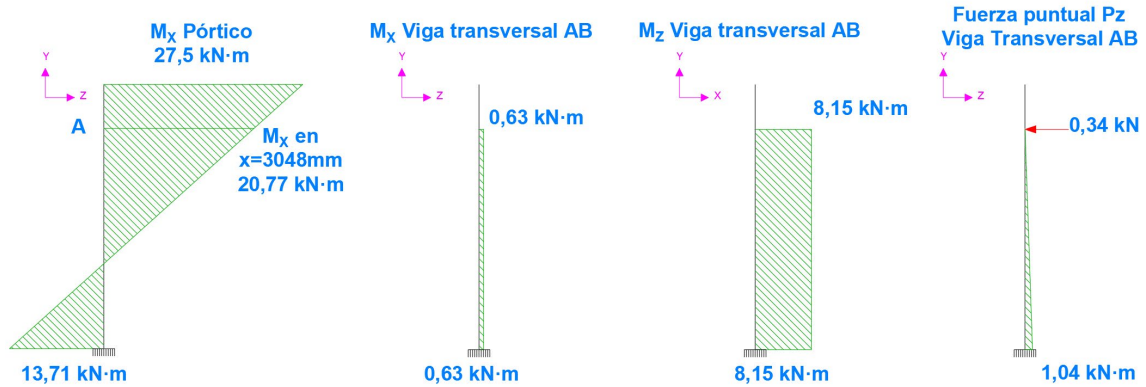


Imagen 46: diagramas de momentos del pilar HI originados por diferentes fuerzas en ELU (proporcionalidad de triángulos)

5.2. Verificación del pilar HI

5.2.1. Comprobación de sección

El primer punto por calcular es averiguar cuál es el punto más desfavorable del pilar. Para ello se utilizará el apartado 6.2.8. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

Se van a estudiar los dos puntos diferentes del pilar para hallar el más desfavorable. El primer estudio será en el punto de unión entre el pilar y las vigas transversales, punto A, cota Y=3048mm; y el segundo punto de estudio será en el empotramiento, punto I, cota Y=0mm.

- **Punto A, cota Y=3048mm**

$$\left. \begin{aligned} M_{X_{portico \text{ en } y=3084mm}} &= 20,77 \text{ kN} \cdot m \\ M_{X_{viga \text{ transversal } AB}} &= 0,63 \text{ kN} \cdot m \end{aligned} \right\} M_x = 20,77 + 0,63 = 21,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Z_{viga \text{ transversal } AB}} = 8,15 \text{ kN} \cdot m$$

$$P_{compresion_{portico+viga \text{ transversal } AB}} = 50,6 \text{ kN}$$

$$W_{Y_{HEB 220}} = 7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{Z_{HEB 220}} = 2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{50594 \text{ N}}{9100 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{(20,77 + 0,63) \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{7,78 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = \mathbf{0,044} \ll 1$$



- Punto H, empotramiento, cota Y=0mm

$$\left. \begin{aligned} M_{X_{portico\ en\ y=0mm}} &= 13,71\ kN \cdot m \\ M_{X_{viga\ transversal\ AB}} &= 0,63\ kN \cdot m \\ M_{X_{fuerza\ puntual\ en\ y=3048}} &= 1,036\ kN \cdot m \end{aligned} \right\} M_x = 13,71 + 0,63 + 1,036 = 15,376\ kNm$$

$$M_{Z_{viga\ transversal\ AB}} = 7,78\ kN \cdot m$$

$$P_{compresion_{portico+viga\ transversal\ AB}} = 50,6\ kN$$

$$W_{Y_{HEB\ 220}} = 7,356 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$W_{Z_{HEB\ 220}} = 2,585 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pL,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{50594\ N}{9100\ mm^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{(13,7 + 0,63 + 1,036) \cdot 10^6\ N \cdot mm}{7,356 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{7,78 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{2,585 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,040 \ll 1$$

5.2.1.1. Sección más desfavorable

Tras realizar estas dos comprobaciones, podemos apreciar como el valor para el punto A, es más desfavorable que el resultado en el punto H, dando a entender que la sección más desfavorable se encuentra en el punto A.

5.2.2. Comprobación a pandeo

Valores del perfil HEB-220:

$$I_{Y_{HEB\ 220}} = 80,91 \cdot 10^6\ mm^4 \quad Area_{HEB220} = 9100\ mm^2 \quad C_{empotrado+libre} = 2$$

$$I_{Z_{HEB\ 220}} = 28,43 \cdot 10^6\ mm^4 \quad L_{pilar\ HI} = 3658\ mm \quad E = 210000\ Pa$$

5.2.2.1. Comprobación a pandeo en X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 80,91 \cdot 10^6}{(3658 \cdot 2)^2} = 3,13 \cdot 10^6\ N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{3,13 \cdot 10^6}} = 0,894 < 2$$

$$\frac{Tablas}{Curva\ B} > \chi_x = 0,73$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{9100 \cdot 275 \cdot 0,73}{1,05} = 1,716 \cdot 10^6\ N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{1,716 \cdot 10^6}{1,5} = 1,144 \cdot 10^6\ N = 1.144\ kN$$



5.2.2.2. Comprobación a pandeo en z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 28,43 \cdot 10^6}{(3658 \cdot 2)^2} = 1,1 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{1,1 \cdot 10^6}} = 1,51 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} > \chi_z = 0,33$$

$$N_{ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_z}{\gamma_{M0}} = \frac{9100 \cdot 275 \cdot 0,33}{1,05} = 786,5 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{ed}}{1,5} = \frac{1,716 \cdot 10^6}{1,5} = 524,33 \cdot 10^3 N = 524,33 \text{ kN}$$

5.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas

En este apartado se va a estudiar la combinación de esfuerzos en elementos comprimidos y flectados según el apartado 6.3.4.2. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

- Valores necesarios:

$$N_{Ed} = 50,6 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,73 \quad \chi_z = 0,33$$

$$M_{yM\acute{a}x} = M_{xM\acute{a}x} = 27,5 \text{ kNm en } y=3658\text{mm}$$

$$Area_{HEB220} = 9100 \text{ mm}^2$$

$$M_{zM\acute{a}x} = 7,78 \text{ kNm}$$

$$W_{YHEB 220} = 7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,02$$

$$W_{ZHEB 220} = 2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$c_{mz} = 1 \quad c_{my} = 0,4$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,16$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{50,6 \cdot 10^3}{0,33 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,021 \cdot \frac{0,4 \cdot 27,5 \cdot 10^6}{7,356 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,1614 \cdot \frac{1 \cdot 7,78 \cdot 10^6}{2,585 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,0848$$

$$\mathbf{0,082 \ll 1}$$



5.2.4. Verificación de Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 7,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Flexión}_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 23,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Flexión}_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{Torsión}} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{Cortantes}} = \frac{v}{A_v} = 0,37 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$27,51 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

CUMPLE CON LAS RESTRICCIONES ESTABLECIDAS EN EL CTE SE-A

6. Pilar MN

El pilar MN es el pilar más delicado de todos, ya que es el que más peso aguanta. Si este perfil cumple, seguramente cumplan en resto. Este pilar aguanta las vigas transversales AB en el punto B, y la viga transversal CD en el punto C.

Los valores de las cargas que intervienen en el pilar se han calculado anteriormente en este mismo documento. Para los datos del pórtico se encuentran en el apartado "4.1. Pórtico tipo en estado límite último", los de la viga transversal AB en el apartado "2.1. Cálculos viga transversal AB en Estado límite último y los de la viga transversal CD en el apartado "3.1. Cálculos viga transversal CD en Estado límite último"

Para visualizar fácilmente los esfuerzos y sus magnitudes, se ha creado la siguiente imagen donde se ve cómo afecta al perfil la carga que se le transmite.

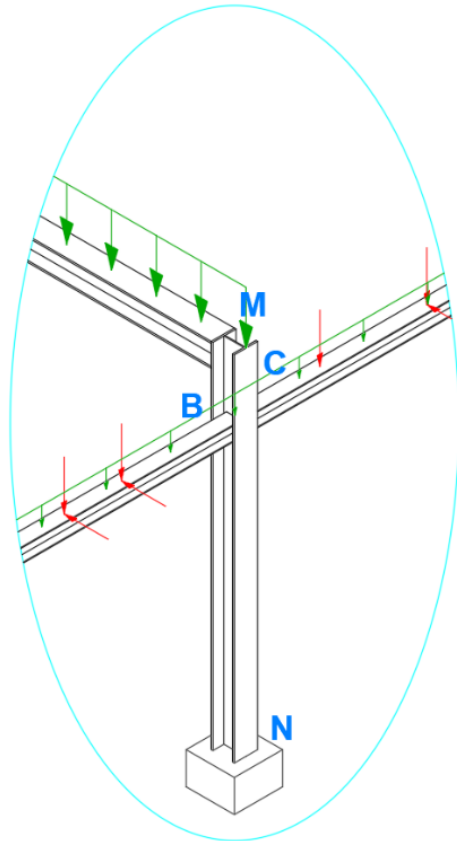


Imagen 47: representación gráfica del pilar MN

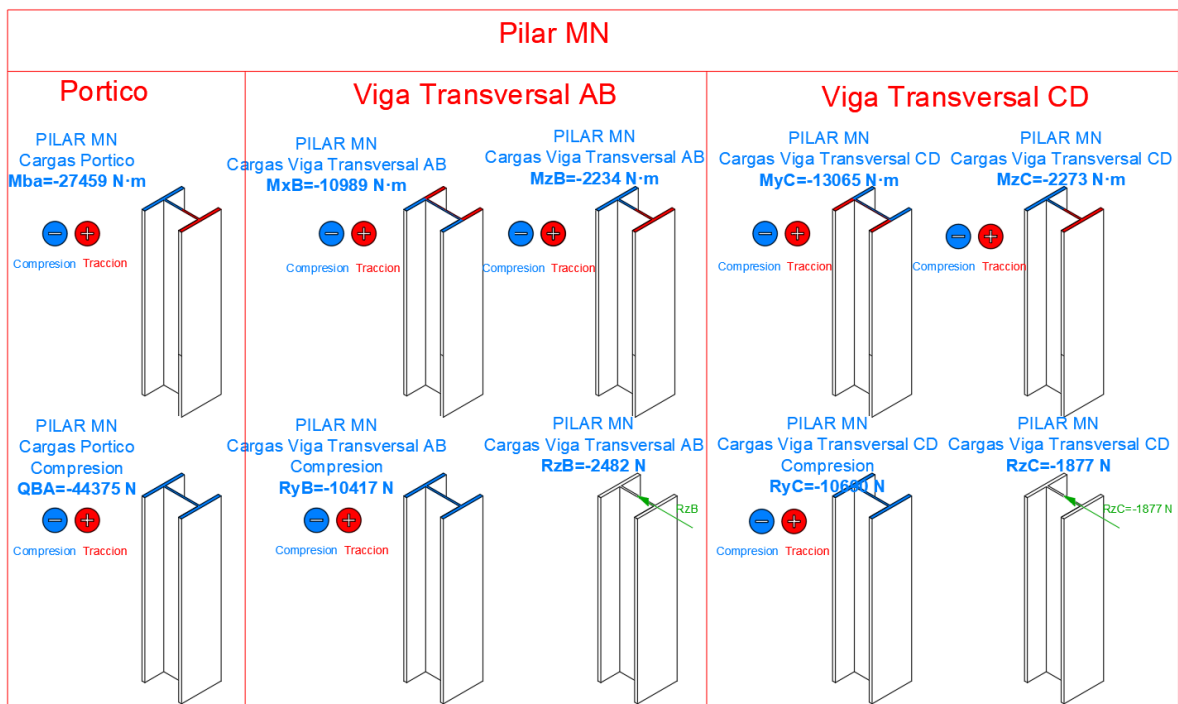


Imagen 48: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto M, por la viga transversal AB en el punto B y por la viga transversal CD en el punto C

Como en el pilar HI, antes de comenzar con las verificaciones, se van a mostrar los diagramas de reacciones y momentos creados por cada fuerza.

6.1. Diagramas de reacciones y momentos en el pilar MN

Comenzaremos sumando las cargas axiales de compresión (en rojo), para seguir con el momento que transmite el pórtico al pilar MN, seguiremos con el momento en el plano.

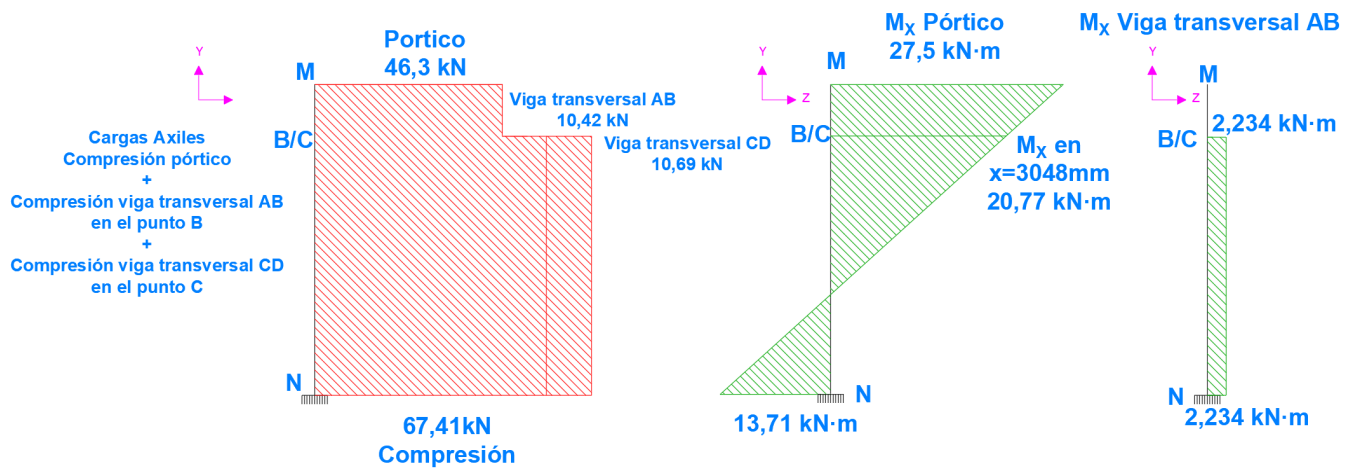


Imagen 49: diagramas de Axiles y momentos del pilar MN originados por el pórtico y la viga AB

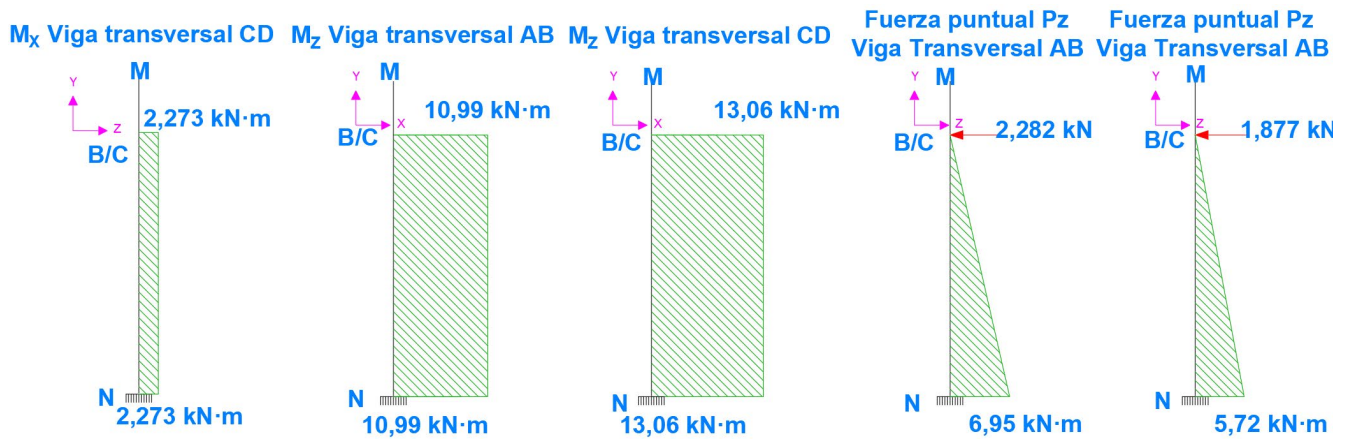


Imagen 50: diagramas de momentos del pilar MN originados las vigas transversales AB y CD

6.2. Verificación del pilar MN

6.2.1. Comprobación de sección

Como en el pilar anterior, el primer paso es identificar el punto donde la sección es más desfavorable. Para ello se estudiará el pilar en el empotramiento en el punto BC a una cota de y=3048mm. Para esta comprobación, se utilizará el apartado 6.2.8. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$



- Punto BC, cota Y=3048mm

$$M_{X_{portico\ en\ y=3084mm}} = 20,77\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ AB}} = 2,234\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ CD}} = 2,273\ kN \cdot m$$

$$M_{Z_{viga\ transversal\ AB}} = 10,99\ kN \cdot m$$

$$M_{Z_{viga\ transversal\ CD}} = 13,06\ kN \cdot m$$

$$P_{compresion_{portico+viga\ AB+ viga\ CD}} = 67,41\ kN$$

$$M_x = 20,77 + 2,234 + 2,273 = 25,277\ kNm$$

$$M_z = 13,06 - 10,99 = 2,07\ kNm$$

$$W_{Y_{HEB\ 220}} = 7,356 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$W_{Z_{HEB\ 220}} = 2,585 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{67410\ N}{9100\ mm^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{25,277 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{7,356 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{2,07 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{2,585 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,044 \ll 1$$

- Punto N, empotramiento, cota Y=0mm

$$M_{X_{portico\ en\ y=0mm}} = 13,71\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ AB}} = 2,234\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ CD}} = 2,273\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ AB_{puntual}}} = 6,95\ kN \cdot m$$

$$M_{X_{viga\ transversal\ CD_{puntual}}} = 5,72\ kN \cdot m$$

$$M_{Z_{viga\ transversal\ AB}} = 10,99\ kN \cdot m$$

$$M_{Z_{viga\ transversal\ CD}} = 13,06\ kN \cdot m$$

$$P_{compresion_{portico+viga\ AB+ viga\ CD}} = 67,41\ kN$$

$$M_x = 13,71 + 2,234 + 2,273 + 6,95 + 5,72 = 30,89\ kNm = M_{xMáx}$$

$$M_z = 13,06 - 10,99 = 2,07\ kNm$$

$$W_{Y_{HEB\ 220}} = 7,356 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$W_{Z_{HEB\ 220}} = 2,585 \cdot 10^6\ mm^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{67410\ N}{9100\ mm^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{30,89 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{7,356 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{2,07 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{2,585 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,047 \ll 1$$



6.2.1.1. Sección más desfavorable

Tras realizar esta comprobación, podemos confirmar que la sección más desfavorable se encuentra en el punto N, que coincide con el empotramiento del pilar MN. También es en este punto donde encontramos el M_x mayor. Por lo que el resto de las comprobaciones de este pilar se realizarán en el empotramiento.

6.2.2. Comprobación a pandeo

La comprobación a pandeo es la misma que se ha realizado para el otro pilar, ya que esta comprobación no depende de la carga, sino que la limita la carga máxima dependiendo de la configuración del perfil (que es la misma). El valor más importante para continuar los cálculos es el coeficiente de pandeo:

$$\chi_x = 0,73$$

$$\chi_z = 0,33$$

6.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas

En este apartado se va a estudiar la combinación de esfuerzos en elementos comprimidos y flectados según el apartado 6.3.4.2. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

- Valores necesarios:

$$N_{Ed} = 67,41 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,73 \quad \chi_z = 0,33$$

$$M_{y_{Máx}} = M_{x_{Máx}} = 30,89 \text{ kNm}$$

$$Area_{HEB220} = 9100 \text{ mm}^2$$

$$M_{z_{Máx}} = 2,07 \text{ kNm}$$

$$W_{Y_{HEB 220}} = 7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,027$$

$$W_{Z_{HEB 220}} = 2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,209$$

$$c_{mz} = 1 \quad c_{my} = 0,4$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{67,41 \cdot 10^3}{0,33 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,027 \cdot \frac{0,4 \cdot 30,89 \cdot 10^6}{7,356 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,209 \cdot \frac{1 \cdot 2,07 \cdot 10^6}{2,585 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,095$$

$$\mathbf{0,095 \ll 1}$$



6.2.4. Verificación de Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{\text{compresión}} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 10,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Flexión}_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 26,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Flexión}_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 5,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{Torsión}} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{Cortantes}} = \frac{v}{A_v} = 4,54 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$35,62 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

CUMPLE CON LAS RESTRICCIONES ESTABLECIDAS EN EL CTE SE-A

7. Pilar UV

El pilar UV es el último de los pilares pertenecientes al rack que vamos a analizar. Se conecta por el lado izquierdo la viga transversal CD, y por el lado derecho una viga transversal sin ningún tipo de carga.

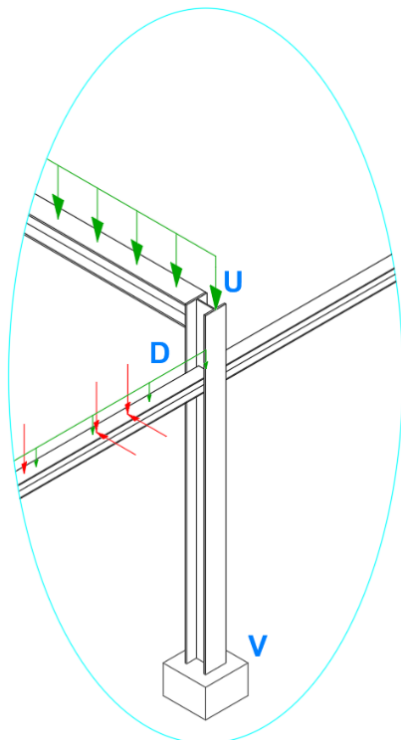


Imagen 51: representación gráfica del pilar UV

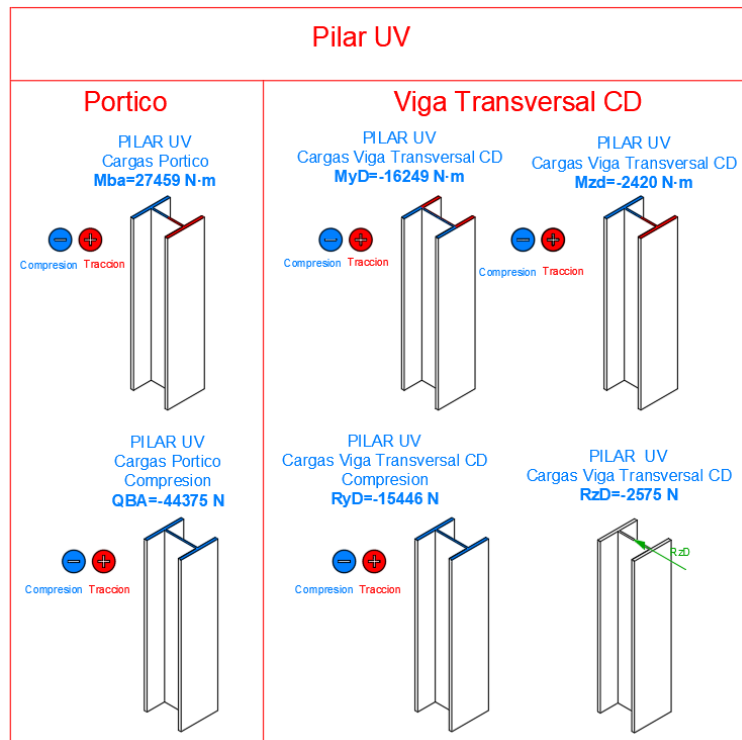


Imagen 52: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto U y por la viga transversal CD en el punto D

Como en los apartados anteriores, se calculará el pilar según el CTE SE-A y se incluirán los diagramas de reacciones y momentos que intervienen en el pilar UV

7.1. Diagrama momentos y reacciones pilar UV

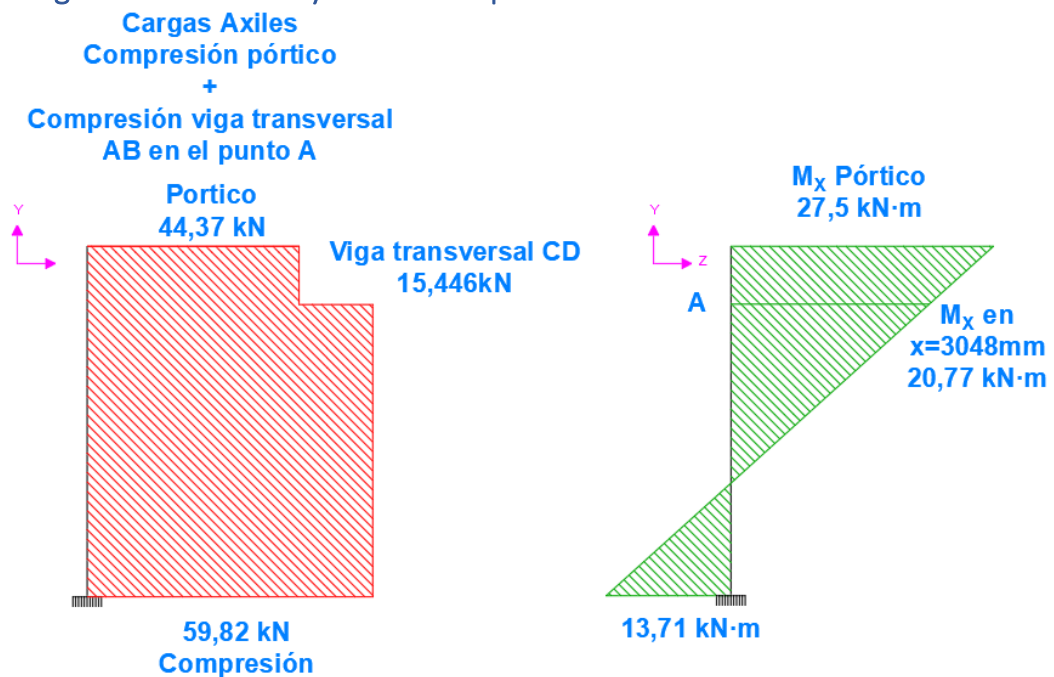


Imagen 53: diagrama axiales pórtico + viga transversal CD en punto D y momentos pórtico

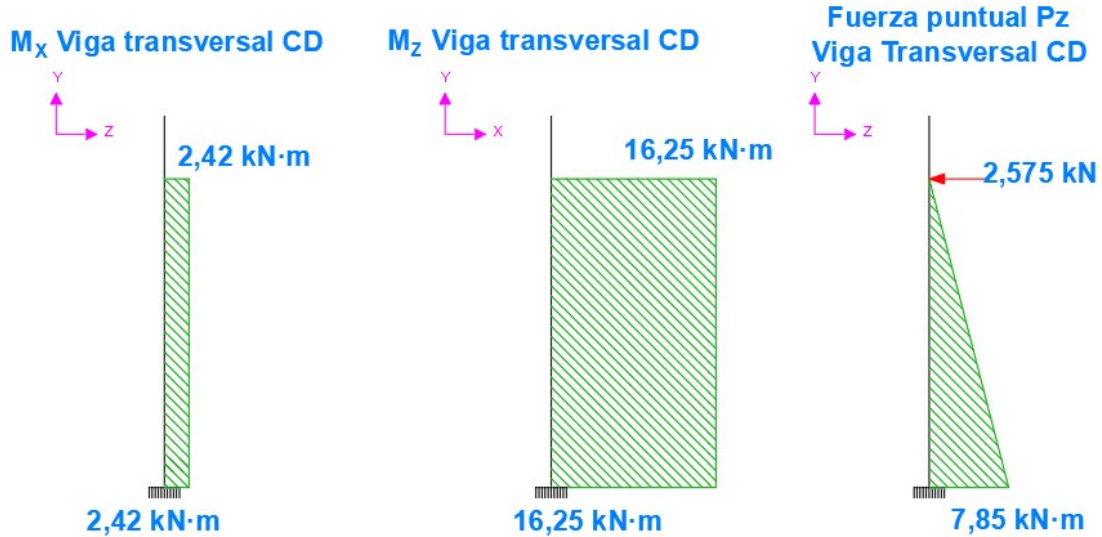


Imagen 54: diagramas de momentos del pilar UV originados por la viga transversal CD

7.2. Verificación del pilar UV

7.2.1. Comprobación de sección

Como se hecho con los pilares anteriores, el primer paso es localizar la sección más desfavorable. Para ello se utilizará el apartado 6.2.8. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

Se van a estudiar dos puntos diferentes del pilar para hallar el más desfavorable. Primero el punto de unión entre el pilar y las vigas transversales, punto D, cota Y=3048mm. El segundo punto de estudio en el empotramiento, punto V, cota Y=0mm.

- **Punto D, cota Y=3048mm**

$$\left. \begin{aligned} M_{Xportico \text{ en } y=3084mm} &= 20,77 \text{ kN} \cdot m \\ M_{Xviga \text{ transversal } CD} &= 2,42 \text{ kN} \cdot m \end{aligned} \right\} M_x = 20,77 + 2,42 = 23,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Zviga \text{ transversal } CD} = 16,25 \text{ kN} \cdot m$$

$$P_{compresion \text{ portico+viga transversal } CD} = 59,82 \text{ kN}$$

$$W_{Y_{HEB 220}} = 7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{Z_{HEB 220}} = 2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{59820 \text{ N}}{9100 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{23,19 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{16,25 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,0611 \ll 1$$



- Punto V, empotramiento, cota Y=0mm

$$\begin{aligned}
 M_{X_{portico\ en\ y=0mm}} &= 13,71\ kN \cdot m \\
 M_{X_{viga\ transversal\ CD}} &= 2,42\ kN \cdot m \\
 M_{X_{fuerza\ puntual\ en\ y=3048}} &= 7,85\ kN \cdot m \\
 M_{Z_{viga\ transversal\ CD}} &= 16,25\ kN \cdot m \\
 P_{compresion_{portico+viga\ transversal\ CD}} &= 59,82\ kN \\
 W_{Y_{HEB\ 220}} &= 7,356 \cdot 10^6\ mm^3 \\
 W_{Z_{HEB\ 220}} &= 2,585 \cdot 10^6\ mm^3
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} M_{X_{portico\ en\ y=0mm}} \\ M_{X_{viga\ transversal\ CD}} \\ M_{X_{fuerza\ puntual\ en\ y=3048}} \end{aligned}} \right\} M_x = 13,71 + 2,42 + 7,85 = 23,98\ kNm$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

$$\frac{59820\ N}{9100\ mm^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{23,98 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{7,356 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{16,25 \cdot 10^6\ N \cdot mm}{2,585 \cdot 10^6\ mm^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,062 \ll 1$$

7.2.1.1. Sección más desfavorable

Tras realizar estas dos comprobaciones, podemos apreciar como el valor en el empotramiento (punto V), es más desfavorable que el resultado en el punto D. Por lo que la sección más desfavorable se encuentra en el empotramiento, punto V.

7.2.2. Comprobación a pandeo

Como sucede en los dos anteriores apartados, los valores para el pandeo no varían, por lo que son los mismos.

$$\chi_x = 0,73$$

$$\chi_z = 0,33$$

7.2.3. Interacción de esfuerzos en piezas

En este apartado se va a estudiar la combinación de esfuerzos en elementos comprimidos y flectados según el apartado 6.3.4.2. del CTE SE-A.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$



- Valores necesarios:

$$N_{Ed} = 59,82 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,73 \quad \chi_z = 0,33$$

$$M_{yMáx} = M_{xMáx} = 27,5 \text{ kNm en } y=3658\text{mm}$$

$$Area_{HEB220} = 9100 \text{ mm}^2$$

$$M_{zMáx} = 16,25 \text{ kNm}$$

$$W_{YHEB 220} = 7,356 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,024$$

$$W_{ZHEB 220} = 2,585 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$c_{mz} = 1 \quad c_{my} = 0,4$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,185$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{59,82 \cdot 10^3}{0,33 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,024 \cdot \frac{0,4 \cdot 27,5 \cdot 10^6}{7,356 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,185 \cdot \frac{1 \cdot 16,25 \cdot 10^6}{2,585 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,104$$

$$0,109 \ll 1$$

7.2.4. Verificación de Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 9,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 23,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 40,01 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 0,89 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$37,01 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

CUMPLE CON LAS RESTRICCIONES ESTABLECIDAS EN EL CTE SE-A

8. Soporte corto W

Este soporte aguanta las tuberías de las líneas 10-A15-6" y 11-A15-6" en su recorrido del intercambiador de calor E-101 al Rack.

Las hipótesis de cálculo se han presentado en el apartado "1.2.5.1.1. Hipótesis 1" de este mismo documento.

Se va a fabricar en su total con perfiles HEB-160 en acero S-275.

8.1. Cálculos analíticos del Soporte corto W en ELU

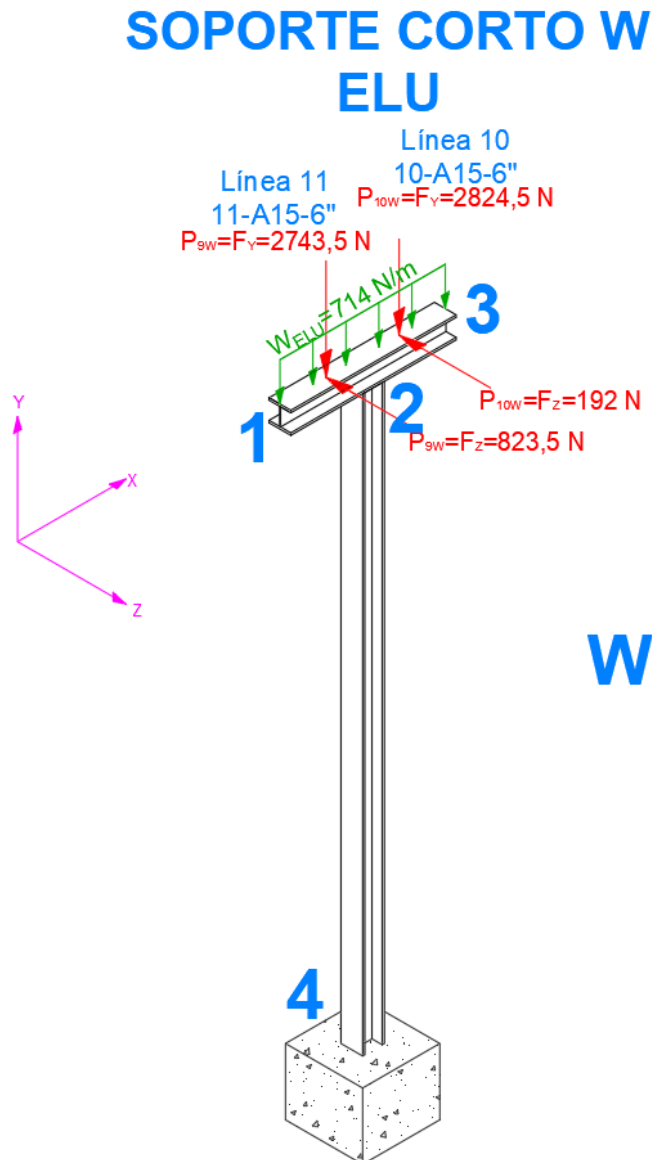


Imagen 55: hipótesis de cálculo para el soporte corto W en ELU

Lo primer paso es encontrar la sección más desfavorable del soporte. Para ello se han comparado los puntos 2 y 4 de la imagen 55 (anterior), siendo en el empotramiento (punto 4) donde se encuentra el punto, más desfavorable, esto se ve en el apartado 8.1.3. de este documento.

En este punto las fuerzas provocan diferentes reacciones y momentos. En la siguiente tabla se agrupan las fuerzas con las reacciones que generan en las diferentes secciones.

8.1.1. Resultados soporte corto W en ELU

EN EL EMPOTRAMIENTO (Punto 4)								
P9y	Flexión	Mz	462.280	Nmm	Mz	-	13.648,5	Nmm
P10y	Flexión	Mz	- 475.928	Nmm				
P9z	Flexión	Mx	2.510.028	Nmm	Mx		3.095.244,0	Nmm
P10z	Flexión	Mx	585.216	Nmm				
P9z	Torsión	Mt	138.760	Nmm	Mt		106.407,8	Nmm
P10z	Torsión	Mt	- 32.352	Nmm				
W	Compresión	P	544	N	P		6.111,8	N
P9y	Compresión	P	2.744	N				
P10y	Compresión	P	2.825	N				
P9z	Cortante	v	824	N	v		1.015,50	N
P10z	Cortante	v	192	N				

Tabla 70: resultados del soporte corto W en ELU en el empotramiento

EN LA UNION (Punto 2)								
P9y	Flexión	Mz	462279,75	Nmm	Mz	-	475.928,3	Nmm
P10y	Flexión	Mz	-475928,25	Nmm				
P9z	Flexión	Mx	138759,75	Nmm	Mx		138.759,8	Nmm
P10z	Flexión	Mx	-32352	Nmm				
P9z	Torsión	Mt	138759,75	Nmm	Mt		106.407,8	Nmm
P10z	Torsión	Mt	-32352	Nmm				
W	Compresión	2 x P	271,880838	N	P		3.096,4	N
P9y	Compresión	P	2743,5	N				
P10y	Compresión	P	2824,5	N				
P9z	Cortante	v	823,5	N	v		1.015,50	N
P10z	Cortante	v	192	N				

Tabla 71: resultados del soporte corto W en ELU en la unión entre viga y pilar

8.1.2. Diagrama reacciones soporte corto W en ELU

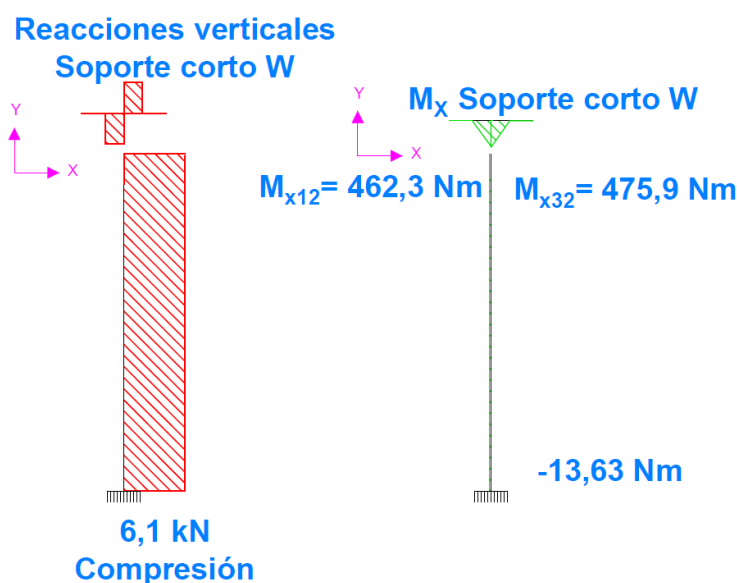


Imagen 56: primer diagrama reacciones soporte corto W en ELU

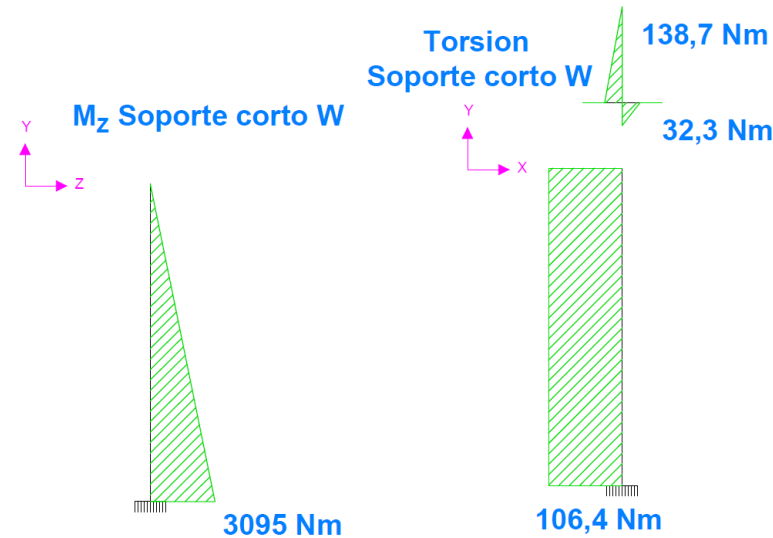


Imagen 57: segundo diagrama reacciones soporte corto W en ELU

8.1.3. Verificación a sección

Ahora compararemos los resultados según el apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones"

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

- En el empotramiento (Punto 4)

$$\frac{6112 \text{ N}}{5430 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{3095244 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3115000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-13649 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1112000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,0804 \ll 1$$

- En la unión (Punto 2)

$$\frac{3096 \text{ N}}{5430 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{138760 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3115000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-475928 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1112000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,0059 \ll 1$$

- Sección más desfavorable:

$$\text{Union (Punto 2)} = 0,059 < \text{Empotramiento(Punto 4)} = 0,0804 \ll 1$$

8.1.4. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas

La siguiente comprobación es a esfuerzos combinados según el CTE SE-A apartado 6.3.4.2.

"Elementos comprimidos y flectados", según fórmula 6.52 del código técnico:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Para poder realizar esta comprobación, es necesario conocer primero el coeficiente de pandeo en cada eje:

8.1.4.1. Comprobación a pandeo del soporte corto W

- Comprobación a pandeo en X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 24,92 \cdot 10^6}{(3048 \cdot 2)^2} = 1,39 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5430 \cdot 275}{1,39 \cdot 10^6}} = 1,04 < 2 \quad \rightarrow \quad \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva B}} > \quad \chi_x = 0,68$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{5430 \cdot 275 \cdot 0,68}{1,05} = 967,06 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{967,06 \cdot 10^3}{1,5} = 644,7 \cdot 10^3 N = 644,7 \text{ kN}$$

- Comprobación a pandeo en Z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 8,89 \cdot 10^6}{(3048 \cdot 2)^2} = 0,496 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5430 \cdot 275}{0,496 \cdot 10^6}} = 1,73 < 2 \quad \rightarrow \quad \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} > \quad \chi_z = 0,26$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_z}{\gamma_{M0}} = \frac{5430 \cdot 275 \cdot 0,26}{1,05} = 369,76 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{369,76 \cdot 10^3}{1,5} = 246,5 \cdot 10^3 N = 246,5 \text{ kN}$$

- Valores necesarios para la verificación a interacciones de esfuerzos en la pieza:

$$N_{Ed} = 6,11 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,68 \quad \chi_z = 0,26$$

$$M_{yM\acute{a}x} = M_{xM\acute{a}x} = 3,10 \text{ kNm}$$

$$Area_{HEB 160} = 5430 \text{ mm}^2$$

$$M_{zM\acute{a}x} = 0,0136 \text{ kNm}$$

$$W_{YHEB 160} = 3,115 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,005$$

$$W_{ZHEB 160} = 1,112 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$c_{mz} = 0,6115 \quad c_{my} = 1$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,046$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{6,11 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 5430 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,005 \cdot \frac{1 \cdot 3,1 \cdot 10^6}{3,115 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,046 \cdot \frac{0,6115 \cdot 13,65 \cdot 10^3}{1,112 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,016$$

$$0,016 \ll 1$$

8.1.5. Comprobación a Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 1,66 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 6,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 9,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 0,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 4,28 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$16,32 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

Cumpliendo todas las verificaciones planteadas por el código técnico, queda demostrado su idoneidad para nuestro proyecto.

Con los datos obtenidos, se ve recomendable girar el pilar del soporte para que el eje fuerte este dirigido a las fuerzas que más aguanta.

8.2. Cálculos soporte corto W en ELS

Ahora vamos a comprobar cuál es la deformación que sufre nuestro soporte. Para ello lo calcularemos en estado límite de servicio con las cargas sin mayorar tal y como se explicaba en el apartado "1.2.5.2.1. Hipótesis 1" de este mismo documento.

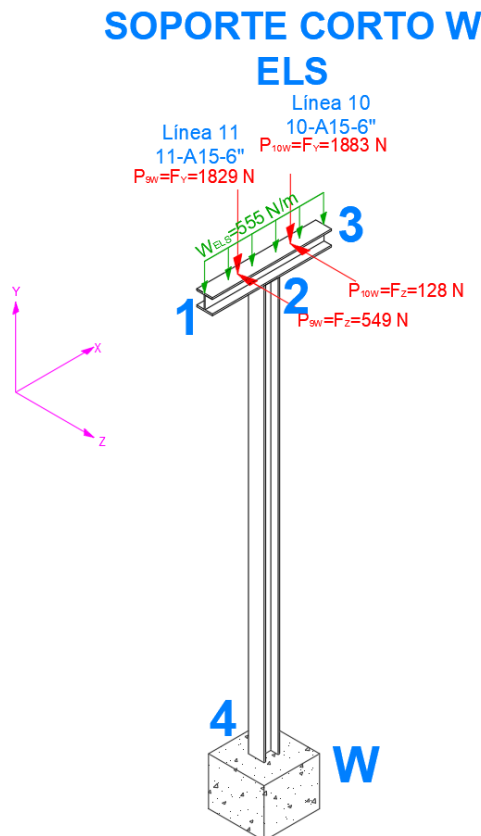


Imagen 58: hipótesis de cálculo soporte corto W en ELS



Ya que conocemos la sección más desfavorable, calcularemos los esfuerzos en este punto para con el momento torsor, calcular el giro del soporte.

Los cálculos de los esfuerzos que se dan en el empotramiento los podemos encontrar a continuación:

EN EL EMPOTRAMIENTO							
P9y	Flexión	Mz	308186,5	Nmm	Mz	- 9.099,0	Nmm
P10y	Flexión	Mz	-317285,5	Nmm			
P9z	Flexión	Mx	1673352	Nmm	Mx	2.063.496,0	Nmm
P10z	Flexión	Mx	390144	Nmm			
P9z	Torsión	Mt	92506,5	Nmm	Mt	70.938,5	Nmm
P10z	Torsión	Mt	-21568	Nmm			
W	Compresión	P	422,81856	N	P	4.134,8	N
P9y	Compresión	P	1829	N			
P10y	Compresión	P	1883	N			
P9z	Cortante	v	549	N	v	677,00	N
P10z	Cortante	v	128	N			

Tabla 72: valores en el empotramiento del soporte corto W en Estado límite de Servicio

8.2.1. Verificación a Deformación

En este apartado calcularemos el giro del soporte ocasionado por el momento torsor, para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$$

Los resultados:

TORSION				
$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$	Mt	θ	θ	δ
	Nmm	Rad	Grados	mm
	70.938,50	0,0085	0,489	3,25

Tabla 73: deformación por torsión

LIMITE DE GIRO IMPUESTO EN 0,015 RADIANES, POR LO QUE CUMPLE SOBRADAMENTE

9. Soporte Largo Ñ

El soporte Largo Ñ, aguanta 4 tuberías de las líneas (de izquierda a derecha), 15-A15-6", 5-C30-8", 14-A15-6" y 4-C30-10". Se sitúa entre la salida del intercambiador E-102 y el Rack. Sirve de apoyo para las líneas que conectan el intercambiador con la torre de fraccionamiento, el depósito y el rack.

Para evitar deformaciones excesivas por la gran torsión que sufre el pilar, se va a fabricar con un perfil HEM 240. En el apartado de "deformaciones", del "calculo analítico del soporte largo Ñ en estado límite de servicio", se hará la comparativa entre diferentes perfiles probados.

9.1. Cálculos analíticos soporte largo Ñ en ELU

Para los cálculos del soporte, se van a utilizar los datos simulados en CaePipe, y recogidos en el apartado "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe". Se va a calcular el soporte en estado limite ultimo para comprobar que cumpla el código técnico.

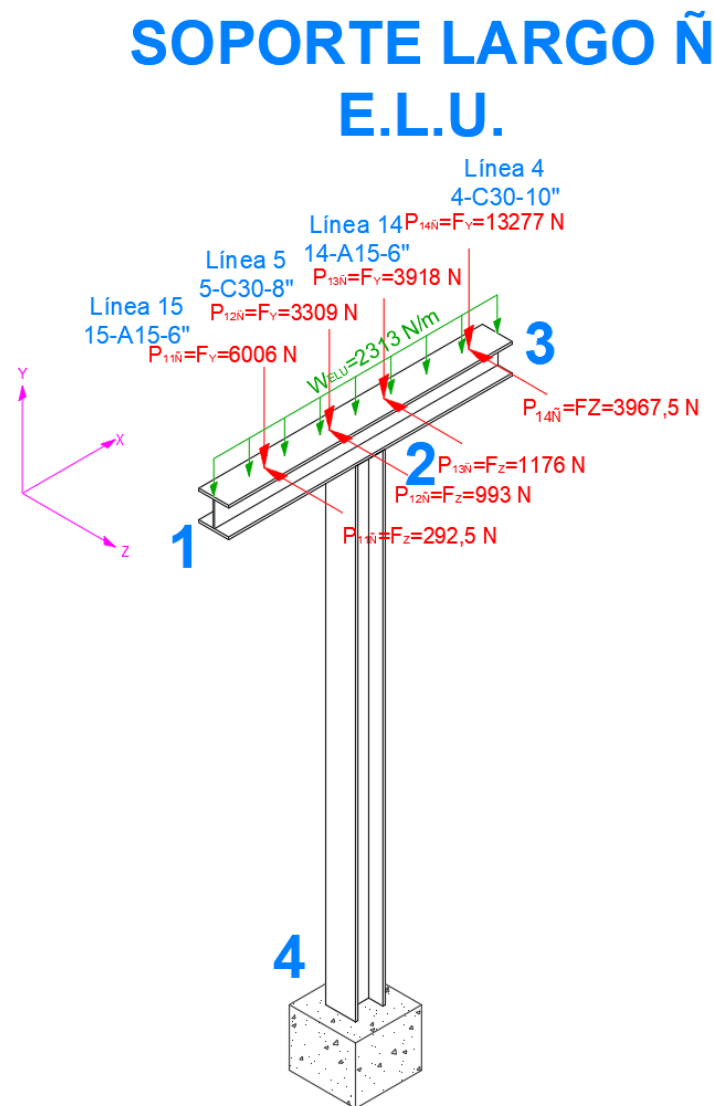


Imagen 59: representación gráfica de las cargas del soporte largo Ñ en ELU



9.1.1. Resultados soporte Largo Ñ ELU

EN EL EMPOTRAMIENTO					
P11y	Flexión	Mz	2.945.342	Nmm	Mz - 5.250.356 Nmm
P12y	Flexión	Mz	464.584	Nmm	
P13y	Flexión	Mz	- 597.103	Nmm	
P14y	Flexión	Mz	- 8.063.179	Nmm	
P11z	Flexión	Mx	891.540	Nmm	Mx 19.595.592 Nmm
P12z	Flexión	Mx	3.026.664	Nmm	
P13z	Flexión	Mx	3.584.448	Nmm	
P14z	Flexión	Mx	12.092.940	Nmm	
P11z	Torsión	Mt	143.442	Nmm	Mt - 2.314.951 Nmm
P12z	Torsión	Mt	139.417	Nmm	
P13z	Torsión	Mt	- 179.222	Nmm	
P14z	Torsión	Mt	- 2.418.588	Nmm	
W	Compresión	P	3.525	N	P 29.985 N
P11y	Compresión	P	6.006	N	
P12y	Compresión	P	3.309	N	
P14y	Compresión	P	13.227	N	
P11z	Cortante	v	293	N	v 6.429 N
P12z	Cortante	v	993	N	
P13z	Cortante	v	1.176	N	
P14z	Cortante	v	3.968	N	

Tabla 74: resultados del soporte Largo Ñ en ELU en el empotramiento

EN LA UNION (Punto 2)					
P11y	Flexión	Mz	2.945.342	Nmm	Mz 3.409.926 Nmm
P12y	Flexión	Mz	464.584	Nmm	Mz - 8.660.282 Nmm
P13y	Flexión	Mz	- 597.103	Nmm	
P14y	Flexión	Mz	- 8.063.179	Nmm	Mx 282.859 Nmm
P11z	Flexión	Mx	143.442	Nmm	
P12z	Flexión	Mx	139.417	Nmm	
P13z	Flexión	Mx	- 179.222	Nmm	
P14z	Flexión	Mx	- 2.418.588	Nmm	Mt - 2.314.951 Nmm
P11z	Torsión	Mt	143.442	Nmm	
P12z	Torsión	Mt	139.417	Nmm	
P13z	Torsión	Mt	- 179.222	Nmm	
P14z	Torsión	Mt	- 2.418.588	Nmm	P 29.985 N
W	Compresión	P	3.525	N	
P11y	Compresión	P	6.006	N	
P12y	Compresión	P	3.309	N	
P13y	Compresión	P	3.918	N	v 6.429 N
P14y	Compresión	P	13.227	N	
P11z	Cortante	v	293	N	
P12z	Cortante	v	993	N	
P13z	Cortante	v	1.176	N	v 6.429 N
P14z	Cortante	v	3.968	N	

Tabla 75: resultados del soporte Largo Ñ en ELU en la unión entre viga y pilar

9.1.2. Diagrama reacciones soporte Largo Ñ ELU

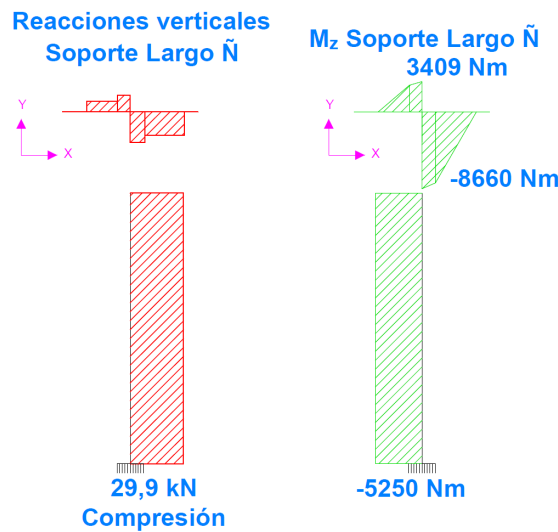


Imagen 60: primer diagrama reacciones soporte Largo Ñ en ELU

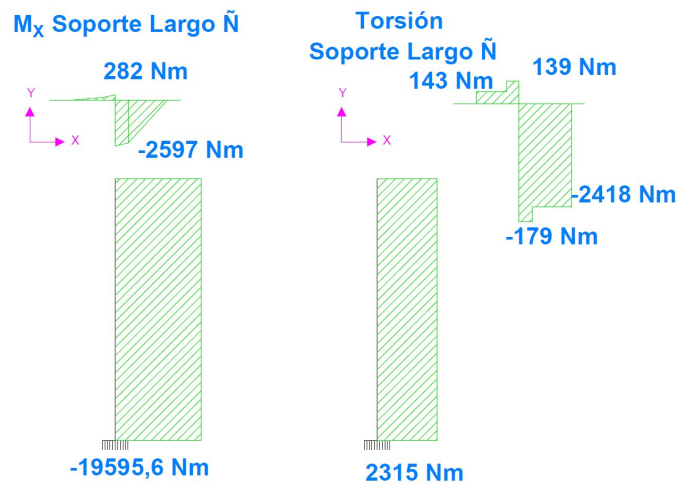


Imagen 61: segundo diagrama reacciones soporte Largo Ñ en ELU

9.1.3. Verificación a sección

Ahora compararemos los resultados según el apartado 6.2.8. "Interacción de esfuerzos en secciones"

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rdy}} + \frac{M_{zEd}}{M_{el,Rdz}} \leq 1$$

- En el empotramiento (Punto 4)

$$\frac{29985 \text{ N}}{19960 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{19595592 \text{ N} \cdot \text{mm}}{17993000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-5250356 \text{ N} \cdot \text{mm}}{6575000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,007 \ll 1$$

- En la unión (Punto 2)

$$\frac{29985 \text{ N}}{19960 \text{ mm}^2 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-2597810 \text{ N} \cdot \text{mm}}{17993000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} + \frac{-8660282 \text{ N} \cdot \text{mm}}{6575000 \text{ mm}^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,01132 \ll 1$$



- Sección más desfavorable:

$$\text{Empotramiento(Punto 4)} = 0,007 < \text{Union (Punto 2)} = 0,011 \ll 1$$

9.1.4. Verificación a interacción de esfuerzos en piezas

La siguiente comprobación es a esfuerzos combinados según el CTE SE-A apartado 6.3.4.2. "Elementos comprimidos y flectados", según formula 6.52 del código técnico:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Para poder realizar esta comprobación, es necesario conocer primero el coeficiente de pandeo en cada eje.

9.1.4.1. Comprobación a pandeo del soporte Largo Ñ

- Comprobación a pandeo en X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 242,9 \cdot 10^6}{(3048 \cdot 2)^2} = 13,55 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{19960 \cdot 275}{13,55 \cdot 10^6}} = 0,64 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva B}} > \chi_x = 0,82$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_x}{\gamma_{M0}} = \frac{19960 \cdot 275 \cdot 0,82}{1,05} = 4286,7 \cdot 10^3 N$$

$$P_{Máx} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{4286,7 \cdot 10^3}{1,5} = 2857,8 \cdot 10^3 N = 2857,8 kN$$

- Comprobación a pandeo en Z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 81,53 \cdot 10^6}{(3048 \cdot 2)^2} = 4,55 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{19960 \cdot 275}{4,55 \cdot 10^6}} = 1,1 < 2$$

$$\frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} > \chi_z = 0,48$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_z}{\gamma_{M0}} = \frac{19960 \cdot 275 \cdot 0,48}{1,05} = 2509,3 \cdot 10^3 N$$

$$P_{Máx} = \frac{N_{Ed}}{1,5} = \frac{2509,3 \cdot 10^3}{1,5} = 1672,8 \cdot 10^3 N = 1672,8 kN$$

- Valores necesarios para la verificación a interacciones de esfuerzos en la pieza:

$$N_{Ed} = 29,99 \text{ kN}$$

$$\chi_x = 0,82 \quad \chi_z = 0,48$$

$$M_{yMáx} = M_{xMáx} = 19,60 \text{ kNm}$$

$$Area_{HEM 240} = 5430 \text{ mm}^2$$

$$M_{zMáx} = 8,66 \text{ kNm}$$

$$W_{YHEM 240} = 17,99 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1,003$$

$$W_{ZHEM 240} = 6,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$c_{mz} = 0,6 \quad c_{my} = 1$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}} = 1,019$$

$$\alpha_y = 0,8$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{29,99 \cdot 10^3}{0,82 \cdot 19960 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,8 \cdot 1,003 \cdot \frac{1 \cdot 19,6 \cdot 10^6}{17,99 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,019 \cdot \frac{0,6 \cdot 8,66 \cdot 10^6}{16,57 \cdot 10^6 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,019$$

$$\mathbf{0,019 \ll 1}$$

9.1.5. Comprobación a Von Mises

Para esta comprobación se va a seguir el apartado 6.1. del CTE SE-A, donde se recomienda comprobar la combinación de tensiones conforme al criterio de plastificación de Von Mises.

$$\sigma_{compresión} = \frac{N}{\chi \cdot A} = 1,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Flexión_x} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_y} = 10,89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{Flexión_z} = \frac{M_{fl} \cdot z}{I_z} = 4,81 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Torsión} = \frac{M_{tr} \cdot r}{I_o} = 7,77 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Cortantes} = \frac{v}{A_v} = 1,83 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd} \cdot \sigma_{zd} + 3 \cdot \tau_{xzd}^2} \leq f_{yd}$$

$$18,92 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} = f_{yd}$$

Cumpliendo todas las verificaciones planteadas por el código técnico, queda demostrado su idoneidad para nuestro proyecto.

9.2. Cálculos analíticos soporte Largo Ñ en ELS

En este apartado se va a estudiar la deformación que sufre el soporte largo Ñ. casi el 100% de la deformación del soporte viene dada por el giro del pilar por culpa d un momento torsor bastante grande. Para limitar esta deformación y que las tuberías apenas sufran variaciones que puedan generar mayores tensiones, se han probado 3 perfiles diferentes, eligiendo el HEM-240 por tener los mejores resultados a cambio del aumento de peso.

Los perfiles que se han comprobado son un HEB-260, un perfil HEB-300, un HEB-400 y por último el elegido, un HEM-240.

Todos los cálculos se han realizado con el peso propio del HEM-240, ya que no sufren a compresión, no se ha visto necesario modifica la carga repartida que incluye el peso propio del material.

SOPORTE LARGO Ñ E.L.S.

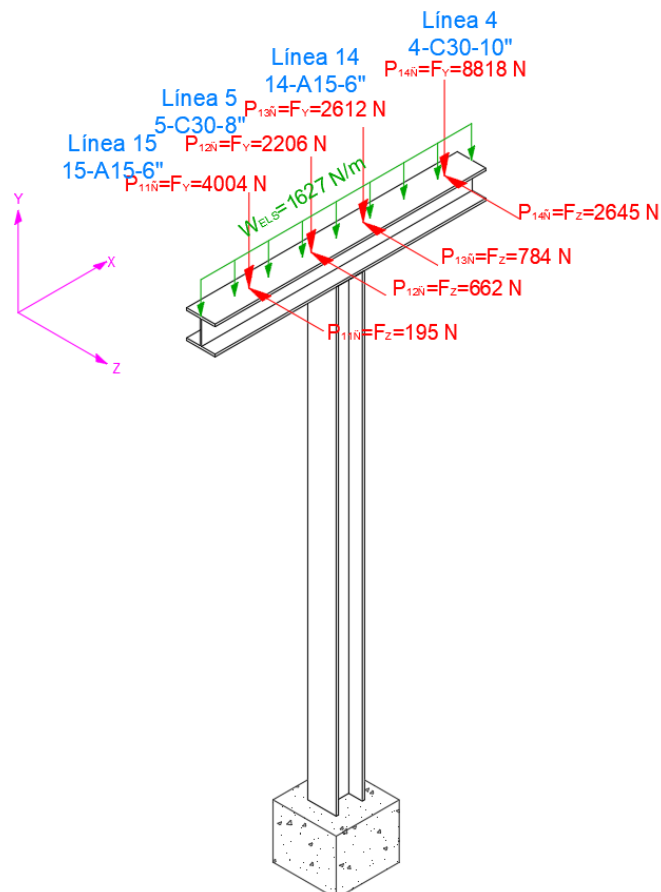


Imagen 62: hipótesis de cálculo soporte largo Ñ en ELS

Ya que conocemos la sección más desfavorable, calcularemos los esfuerzos en este punto para obtener el momento torsor y calcular el giro del soporte. Después con el momento torsor que se genera y las propiedades de los perfiles, podremos calcular el giro en el pilar del soporte.

EN EL EMPOTRAMIENTO					
P11y	Flexión	Mz	1963561,6	Nmm	Mz - 3.500.238 Nmm
P12y	Flexión	Mz	309722,4	Nmm	
P13y	Flexión	Mz	-398068,8	Nmm	
P14y	Flexión	Mz	-5375452,8	Nmm	
P11z	Flexión	Mx	594360	Nmm	Mx 13.063.728 Nmm
P12z	Flexión	Mx	2017776	Nmm	
P13z	Flexión	Mx	2389632	Nmm	
P14z	Flexión	Mx	8061960	Nmm	
P11z	Torsión	Mt	95628	Nmm	Mt - 1.543.301 Nmm
P12z	Torsión	Mt	92944,8	Nmm	
P13z	Torsión	Mt	-119481,6	Nmm	
P14z	Torsión	Mt	-1612392	Nmm	
W	Compresión	P	2480,21856	N	P 20.120 N
P11y	Compresión	P	4004	N	
P12y	Compresión	P	2206	N	
P13y	Compresión	P	2612	N	
P14y	Compresión	P	8818	N	
P11z	Cortante	v	195	N	v 4.286 N
P12z	Cortante	v	662	N	
P13z	Cortante	v	784	N	
P14z	Cortante	v	2.645	N	

Tabla 76: valores en el empotramiento del soporte corto W en Estado límite de Servicio

9.2.1. Verificación a Deformación

En este apartado calcularemos el giro del soporte ocasionado por el momento torsor. Para poderla utilizar es necesario conocer las propiedades de los perfiles seleccionados, estos están desarrollados en profundidad en el Excel, en este documento solo se indicará el módulo de torsión de Saint Venant de cada perfil:

TORSION					
Perfil HEB-260					
$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$	$I_t=I_0$	M_t	θ	θ	δ
	mm ⁴	Nmm	Rad	Grados	mm
	1267000	- 1.543.301	- 0,0458	- 2,63	34,91
Perfil HEB-300					
$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$	$I_t=I_0$	M_t	θ	θ	δ
	mm ⁴	Nmm	Rad	Grados	mm
	1892000	- 1.543.301	- 0,0307	- 1,76	23,39
Perfil HEB-400					
$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$	$I_t=I_0$	M_t	θ	θ	δ
	mm ⁴	Nmm	Rad	Grados	mm
	3610000	- 1.543.301	- 0,0161	- 0,92	12,26
Perfil HEM-240					
$\theta = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_0}$	$I_t=I_0$	M_t	θ	θ	δ
	mm ⁴	Nmm	Rad	Grados	mm
	6260000	- 1.543.301	- 0,0093	- 0,53	7,07

Tabla 77: resultados del giro del soporte largo Ñ con diferentes perfiles.

Las deformaciones mostradas en la tabla anterior son en el extremo de la viga superior del soporte. Las deformaciones en los puntos donde apoyan las tuberías son menores todavía.

$$\theta_{extremo} = 0,53^\circ \rightarrow \delta_{TOTAL} = 7,07 \text{ mm}$$

LIMITE DE GIRO IMPUESTO EN 0,015 RADIANES, POR LO QUE SI CUMPLE el perfil HEM-240



10. Trunions

Los trunions son pequeños soportes que se sitúan en las tuberías para controlar las deformaciones por el peso propio después de una bajada grande o junto a una estación de control.

Estos soportes están fabricados con un perfil circular hueco y se sitúan en los codos de la línea.

En nuestro modelo hay 4 Trunnion, aunque en la simulación realizada por CaePipe, solo se analizaron las líneas de mayor interés, 3 de estos soportes están estudiados en profundidad conociendo la carga que transmiten las tuberías. Por lo que se va a generalizar un perfil que cumpla para todos los casos.

Los valores de carga se desarrollaron dentro de cada línea, en las cargas sobre los soportes del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" y también se muestran a continuación:

LINEA	DIAMETRO (pulgadas)	NODO	EMPTY	SUSTAINED	OPERATING	SUSTAINED	OPERATING
			WEIGHT		1	+ WIND	+ WIND
			Fy (N)	Fy (N)	Fy (N)	Fy (N)	Fy (N)
9-C30-4	4	90A	-2511	-2838	-2908	-2659	-2728
7-C30-4	4	90b	-1972	-2331	-2329	-2036	-2034
11-A15-6	6	80A	-5019	-5764	-13907	-5390	-13533

Tabla 78: valores verticales sobre los trunnion

10.1. Pandeo

En este apartado se va a comprobar como el que perfil puede cumplir con los requisitos de los trunnion. Los trunnion del modelo tienen una longitud entre 650mm y 850mm, por lo que se van a considerar un metro de longitud para estar del lado de la seguridad.

Primero se va a calcular el trunnion de 100mm de diámetro para las líneas de 4". Luego se analizará el de 150mm de diámetro para la línea 11 de 6".

10.1.1. Trunnion de Ø100mm x 3mm para líneas de 4".

Esta comprobación se realiza para los trunnion de las líneas 7, 9 y 12. Se trata de un tubo redondo de 100mm de diámetro y 3 mm de grosor.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,07 \cdot 10^6}{(1000 \cdot 2)^2} = 554.428 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{914 \cdot 275}{554,43 \cdot 10^3}} = 0,67 < 2$$

$$\bar{\lambda} \rightarrow \frac{\text{Laminado}}{\text{en caliente}} \rightarrow \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva A}} \rightarrow \chi_x = 0,87$$

$$\bar{\lambda} \rightarrow \frac{\text{Conformado}}{\text{en frio}} \rightarrow \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} \rightarrow \chi_x = 0,75$$

- Laminado en caliente

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi}{\gamma_{M0}} = \frac{914 \cdot 275 \cdot 0,87}{1,05} = 208,261 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{ed}}{1,5} = \frac{208,26 \cdot 10^3}{1,5} = 138,84 \cdot 10^3 N = \mathbf{138,8 kN}$$

- Conformado en frío

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi}{\gamma_{M0}} = \frac{914 \cdot 275 \cdot 0,75}{1,05} = 179,54 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{ed}}{1,5} = \frac{179,54 \cdot 10^3}{1,5} = 119,69 \cdot 10^3 N = \mathbf{119,7 kN}$$

Como se puede comprobar, si comparamos estos resultados con las dos primeras filas de la tabla 78 (justo la anterior) con los resultados a pandeo, podemos ver como la carga mayor sobre un trunnion de 4" ronda los 3 kN, mientras que el trunnion conformado en frío, que sería el que menos aguante, aguanta 40 veces más de lo necesario.

Este sobredimensionamiento está justificado para hacer coincidir el diámetro del tubo del trunnion con el diámetro de la tubería que soporta, de esta manera la operación de unión y la transmisión de esfuerzos es mucho más fluido.

10.1.2. Trunnion de $\varnothing 150\text{mm} \times 4\text{mm}$ para líneas de 6".

Esta comprobación se realiza para el trunnion de la línea 11-A15-6". Este será de 150mm de diámetro y un grosor de 4mm (el menor disponible).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L \cdot c)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 4,89 \cdot 10^6}{(1000 \cdot 2)^2} = 2,533 \cdot 10^6 N$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1830 \cdot 275}{2,533 \cdot 10^6}} = 0,45 < 2$$

$$\bar{\lambda} \rightarrow \frac{\text{Laminado}}{\text{en caliente}} \rightarrow \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva A}} \rightarrow \chi_x = \mathbf{0,96}$$

$$\bar{\lambda} \rightarrow \frac{\text{Conformado}}{\text{en frío}} \rightarrow \frac{\text{Tablas}}{\text{Curva C}} \rightarrow \chi_x = \mathbf{0,88}$$



- Laminado en caliente

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi}{\gamma_{M0}} = \frac{1830 \cdot 275 \cdot 0,96}{1,05} = 460,11 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{ed}}{1,5} = \frac{460,11 \cdot 10^3}{1,5} = 306,743 \cdot 10^3 N = \mathbf{306,74 \text{ kN}}$$

- Conformado en frío

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi}{\gamma_{M0}} = \frac{1830 \cdot 275 \cdot 0,88}{1,05} = 421,77 \cdot 10^3 N$$

$$P_{M\acute{a}x} = \frac{N_{ed}}{1,5} = \frac{421,77 \cdot 10^3}{1,5} = 281,181 \cdot 10^3 N = \mathbf{281,2 \text{ kN}}$$

Como se puede comprobar fácilmente, el límite máximo del tubo está muy por encima de los esfuerzos que transmite la tubería 11-A15-6" al trunnion, aceptando el tubo redondo hueco 150-4 laminado en frío o en caliente para la fabricación de este trunnion.

El sobredimensionamiento está justificado por ajustar el diámetro del tubo que forma el trunnion con el diámetro de la tubería que sujeta, en este caso de 6".

11. Placas de anclaje

11.1. Placa de anclaje de los pilares del rack

Valores del pilar MN en el empotramiento:

$M_x = 27,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P = 60 \text{ kN}$

$M_z = 16,25 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V = 11,25 \text{ kN}$

Acero s275

Hormigón HA 25

Anclajes en acero B400s

- Área portante

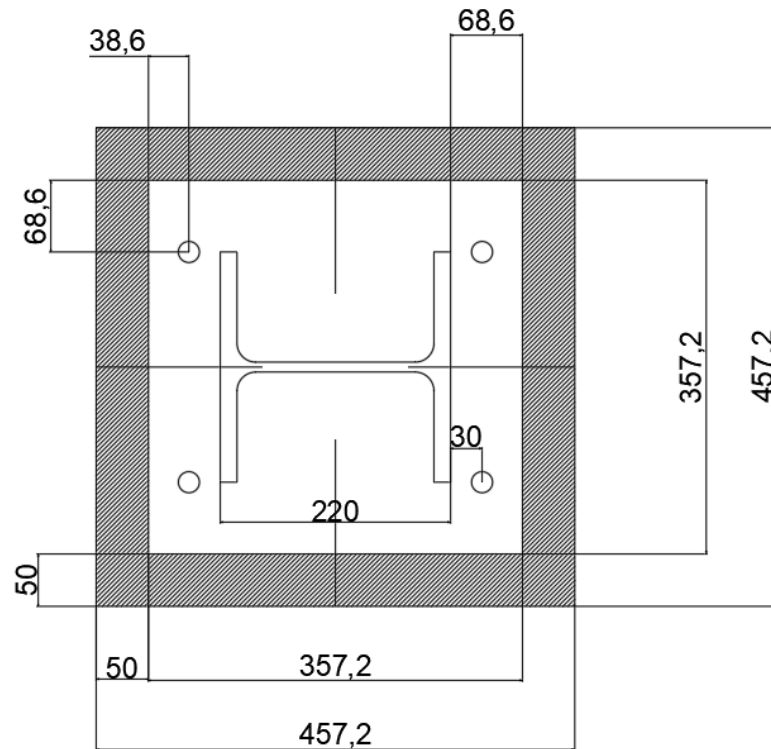


Imagen 63: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje de los pilares del rack

Datos geométricos placa original			
a=	357,2 mm	b=	357,2 mm
a1=	457,2 mm	b1=	457,2 mm
ar=	50 mm	br=	50 mm

Tabla 79: datos geométricos de la placa de anclaje

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} \leq 3,3 f_{cd}$$

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} \leq 5 = 1,28$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 13,47 \text{ N/mm}^2$$

$a_1 = a + 2ar$	457,2 mm	$b_1 = b + 2br$	457,2 mm
$a_1 = 5a$	1786 mm	$b_1 = 5b$	1786 mm
$a_1 = a + h$	662,2 mm	$b_1 = b + h$	662,2 mm
$a_1 = 5 \cdot b_1$	2286 mm	$b = 5 \cdot a_1$	2286 mm

Tabla 80: valores para el dimensionamiento de la placa

$$c \leq t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

$$c = 49,6 \text{ mm}$$

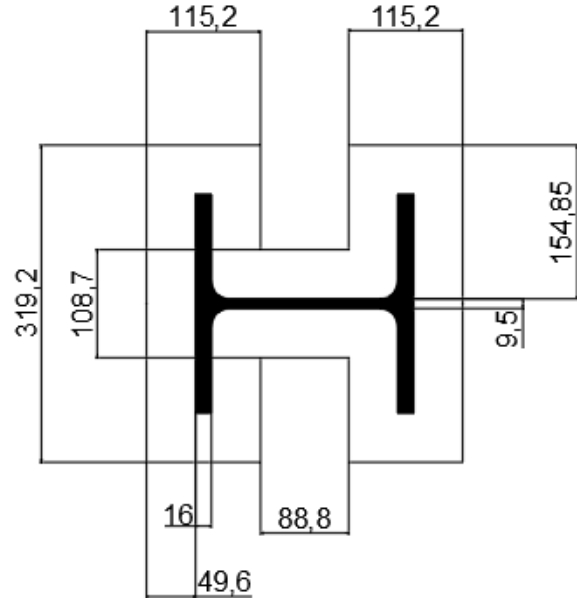


Imagen 64: representación del área portante de la placa

• **Análisis de las solicitaciones: compresión compuesta**

Sí, $\rightarrow e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \leq \frac{a}{6}$ es compresión compuesta, en caso contrario se tratará de un caso de flexocompresión.

$$\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 45,83 \text{ mm} \leq \frac{a}{6} = 59,63 \text{ mm}$$

Se confirma que se trata de compresión compuesta

• **Esfuerzos en la placa:**

- Ley de Navier

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{A_p} + \frac{M_{Ed}}{I_{p,y}} \cdot Z_{m\acute{a}x} \leq f_{cd}$$

$$\frac{60.000 \text{ N}}{83196,24 \text{ mm}^2} + \frac{27,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{852824764 \text{ mm}^4} \cdot 19,6 \text{ mm} = 5,867 \text{ MPa} \ll 16,667 \text{ MPa}$$

Si cumple

hc=	220 mm	b' =	311,6 mm
a' =	311,6 mm	g =	48,6 mm
a =	377,2 mm	t =	20 mm

Tabla 81: valores gráficos



$$\sum M_T = 0 \rightarrow M_{Ed} + N_{Ed} \left(\frac{a}{2} - g \right) - x \cdot b' \cdot f_{jd} \left(\frac{a}{2} - g + \frac{h_c}{2} + c - \frac{x}{2} \right) = 0$$

$$x_1 = 571,42 \text{ mm}$$

$$x_2 = 27,67 \text{ mm}$$

$$x_2 = 27,67 \text{ mm} < (49,6 + 16 + 49,6) = 115,2 \text{ mm}$$

$$\sum F_v = 0 \rightarrow T + N_{Ed} - x \cdot b' \cdot f_{jd} = 0$$

$$T = 65.650,6 \text{ N} = 65,65 \text{ kN}$$

Son validas las dimensiones originales de la placa

- **Espesor de la placa:**

- Momentos en la sección 1:

$$M_{1Ed} = b' \cdot f_{jd} \cdot x \left(\frac{x}{2} + c - x \right) = 4487354,28 \text{ mm} \cdot \text{N}$$

- Momentos en la sección 2:

$$M_{2Ed} = T \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_c}{2} - g \right) = 1969517,48 \text{ mm} \cdot \text{N}$$

La sección 1 (M_{1Ed}) es la más solicitada.

Momento actuante:

$$M_{1Ed}^* = \frac{M_{1Ed}}{b'} = \frac{4487354,28 \text{ mm} \cdot \text{N}}{321,8 \text{ mm}} = 14.058,13 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente:

$$M_{p,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_{yd}}{4} = 26.190,5 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente > Momento actuante

Al ser el momento resistente mayor que el momento actuante, se confirma que el espesor de 20mm es correcto.

- Dimensionamiento de los pernos de anclaje

Acero B 400S

Designación	Clases de acero	① Límite elástico f_y en $N/mm^2 \geq$	① Carga unitaria de rotura f_u en $N/mm^2 \geq$	Alargamiento de rotura en % sobre base de $5 \phi \geq$	② Relación f_u/f_y en ensayo \geq
B 400S	soldable	400	440	14	1,05
B 500S	soldable	500	550	12	1,05

① Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal
② Relación mínima admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenido en cada ensayo

Imagen 65: valores del acero B400S

Axil a soportar = 64.069,3 N

Se van a seleccionar 2 redondos de 18mm de diámetro en acero B400S, para que cumpla con las siguientes restricciones.

Longitud de barra de anclaje por prolongación recta:

$$l_{b1} = w \cdot \phi^2 \geq \frac{f_{jd}}{20} \phi \left[\begin{array}{l} l_{b1} = 12 \cdot 1,8^2 = 38,88 \text{ cm} \\ l_{b1} = \frac{400}{20} \cdot 1,8 = 36 \text{ cm} \end{array} \right]$$

- Longitud neta:

$$l_{bNeta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{Sreal}} = 33,1 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_{yd}} = 188,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sreal} = 2\pi \cdot r^2 = 307,88 \text{ mm}^2$$

- Limitaciones

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 10 \cdot \phi = 180 \text{ mm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 15 \text{ cm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow \frac{2}{3} \cdot l_b = 22,067 \text{ cm}$$

$$\text{diametro minim anclajes} \rightarrow \phi_{min} = 120 \text{ mm}$$

La placa llevara 4 ϕ 14 (B400S) de 30 cm de longitud en prolongación recta

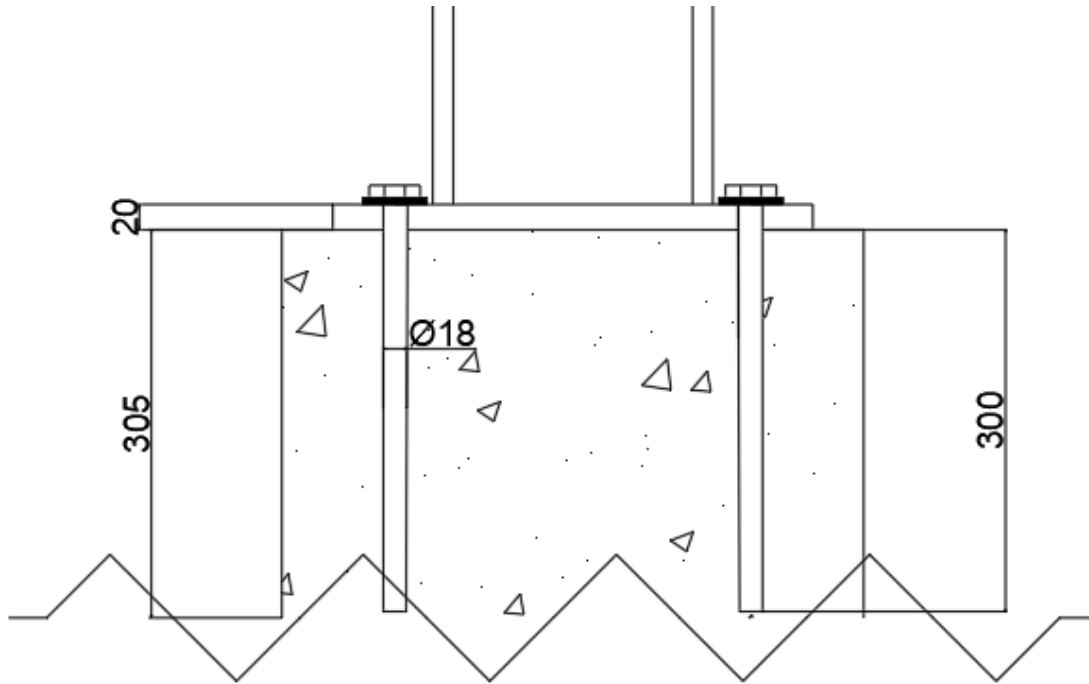


Imagen 66: representación del anclaje de la placa en el cimiento que sobresale del pavimento

11.2. Placa de anclaje del soporte corto W

Valores del pilar MN en el empotramiento:

$$M_x = 3,1 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$P = 6,12 \text{ kN}$$

$$M_z = 0,015 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Acero s275

Hormigón HA 25

Anclajes acero B400s

- Área portante

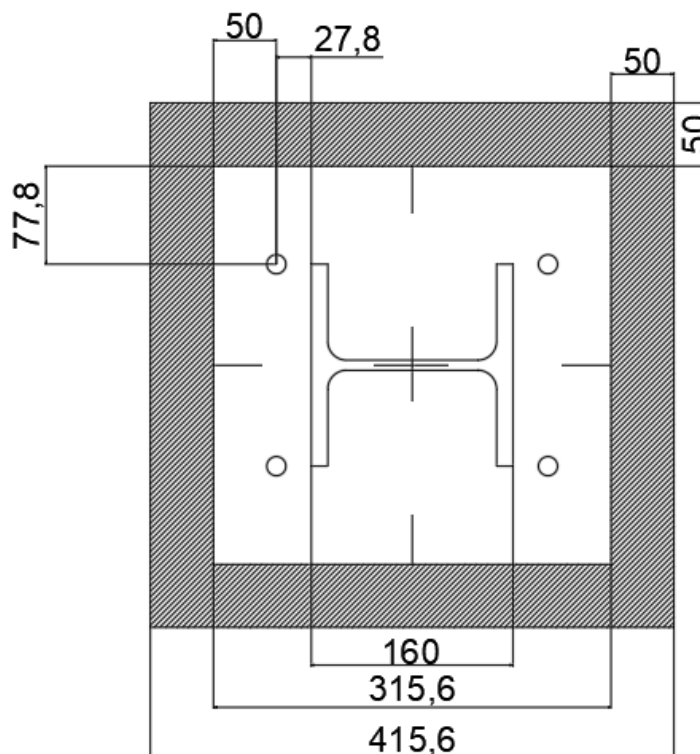


Imagen 67: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje del soporte corto W

Datos geométricos placa original			
a=	315,6 mm	b=	315,6 mm
a1=	415,6 mm	b1=	415,6 mm
ar=	50 mm	br=	50 mm

Tabla 82: datos geométricos de la placa de anclaje del soporte corto W

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} \leq 3,3 f_{cd}$$

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} \leq 5 = 1,317$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 14,63 \text{ N/mm}^2$$

a1=a+2ar	415,6 mm	b1=b+2br	415,6 mm
a1=5a	1578 mm	b1=5b	1578 mm
a1=a+h	620,6 mm	b1=b+h	620,6 mm
a1=5·b1	2078 mm	b=5·a1	2078 mm

Tabla 83: valores para el dimensionamiento de la placa

$$c \leq t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

$$c = 48,9 \text{ mm}$$

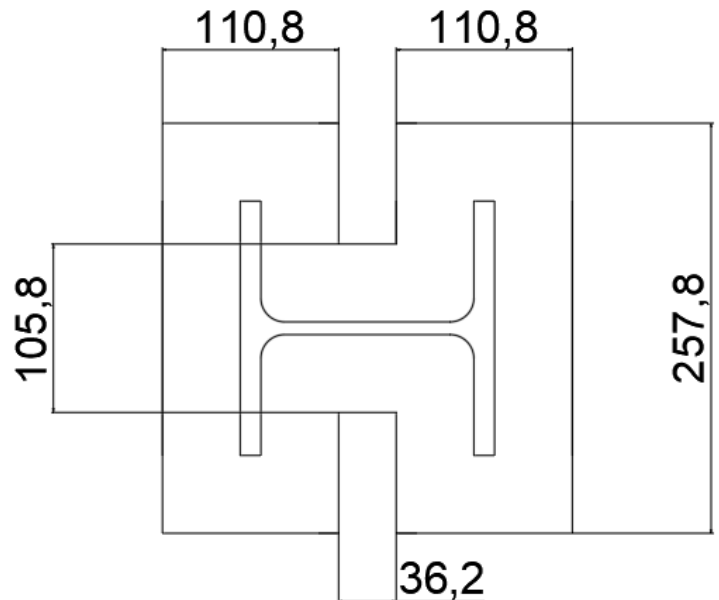


Imagen 68: representación del área portante de la placa de anclaje del soporte corto W

- **Análisis de las solicitaciones: compresión compuesta**

Sí, $\rightarrow e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \leq \frac{a}{6}$ es compresión compuesta, en caso contrario se tratará de un caso de flexocompresión

$$\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 50,65 \text{ mm} \leq \frac{a}{6} = 52,60 \text{ mm}$$

Se confirma que se trata de compresión compuesta



- **Esfuerzos en la placa:**
- Ley de Navier

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N_{Ed}}{A_p} + \frac{M_{Ed}}{I_{p,y}} \cdot Z_{m\acute{a}x} \leq f_{cd}$$

$$\text{Área de la zona portante} = 60958 \text{ mm}^2 = A_p$$

$$\text{Momento de inercia zona portante} = 367486057 \text{ mm}^4 = I_{p,y}$$

$$\frac{6120 \text{ N}}{60958 \text{ mm}^2} + \frac{3,1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{367486057 \text{ mm}^4} \cdot 128,9 \text{ mm} = 1,188 \text{ MPa} \ll 16,667 \text{ MPa}$$

Si cumple.

hc=	160 mm	b'=	265,6 mm
a'=	265,6 mm	g=	50 mm
a=	315,6 mm	t=	20 mm

Tabla 84: valores gráficos

$$\sum M_T = 0 \rightarrow M_{Ed} + N_{Ed} \left(\frac{a}{2} - g \right) - x \cdot b' \cdot f_{jd} \left(\frac{a}{2} - g + \frac{h_c}{2} + c - \frac{x}{2} \right) = 0$$

$$x_1 = 469,06 \text{ mm}$$

$$x_2 = 4,25 \text{ mm}$$

$$x_2 = 4,25 \text{ mm} < (48,9 + 13 + 48,9) \text{ mm}$$

$$\sum F_v = 0 \rightarrow T + N_{Ed} - x \cdot b' \cdot f_{jd} = 0$$

$$T = 9911,1 \text{ N} = 9,9 \text{ kN}$$

Son válidas las dimensiones originales de la placa

- **Espesor de la placa:**
- Momentos en la sección 1:

$$M_{1Ed} = b' \cdot f_{jd} \cdot x \left(\frac{x}{2} + c - x \right) = 749.103,049 \text{ mm} \cdot \text{N}$$

- Momentos en la sección 2:

$$M_{2Ed} = T \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_c}{2} - g \right) = 297331,78 \text{ mm} \cdot \text{N}$$



La sección 1 (M_{1Ed}) es la más solicitada.

Momento actuante:

$$M_{1Ed}^* = \frac{M_{1Ed}}{b'} = \frac{749.103,049 \text{ mm} \cdot \text{N}}{265,6 \text{ mm}} = 2.905,75 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente:

$$M_{p,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_{yd}}{4} = 26.190,5 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente >> Momento actuante

Al ser el momento resistente mayor que el momento actuante, se confirma que el espesor de 20mm es correcto.

- **Dimensionamiento de los pernos de anclaje**

Acero B 400S

Axil a soportar = 9.661,2 N

Se van a seleccionar 2 redondos de 18mm de diámetro en acero B400S para cumplir con las siguientes limitaciones.

Longitud de barra de anclaje por prolongación recta:

$$l_{b1} = m \cdot \phi^2 \geq \frac{f_{jd}}{20} \phi \left[\begin{array}{l} l_{b1} = 12 \cdot 1,8^2 = 38,88 \text{ cm} \\ l_{b1} = \frac{400}{20} \cdot 1,8 = 36 \text{ cm} \end{array} \right]$$

- Longitud neta:

$$l_{bNeta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{Sreal}} = 2,9 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{T}{f_{yd}} = 27,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sreal} = 2\pi \cdot r^2 = 307,88 \text{ mm}^2$$

- Limitaciones

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 10 \cdot \phi = 180 \text{ mm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 15 \text{ cm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow \frac{2}{3} \cdot l_b = 25,92 \text{ cm}$$

$$\text{diametro minim anclajes} \rightarrow \phi_{min} = 120 \text{ mm}$$

La placa llevara 4 $\varnothing 18$ (B400S) de 27 cm de longitud en prolongación recta

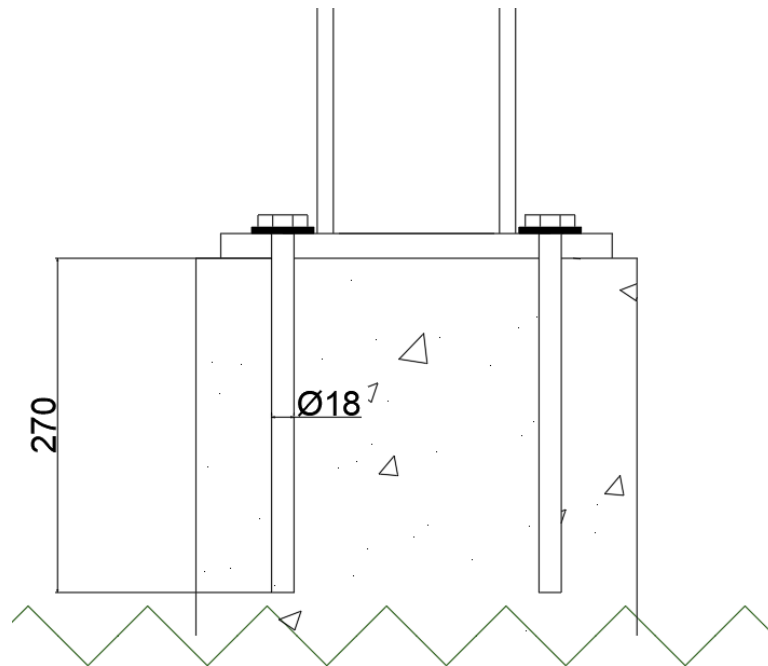


Imagen 69: representación del anclaje de la placa en el cimiento que sobresale del pavimento

11.3. Placa de anclaje del largo Ñ

Valores del pilar MN en el empotramiento:

$M_x = 19,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P = 30 \text{ kN}$

$M_z = 5,25 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Acero s275

Hormigón HA 25

Anclajes acero B400s

- Área portante

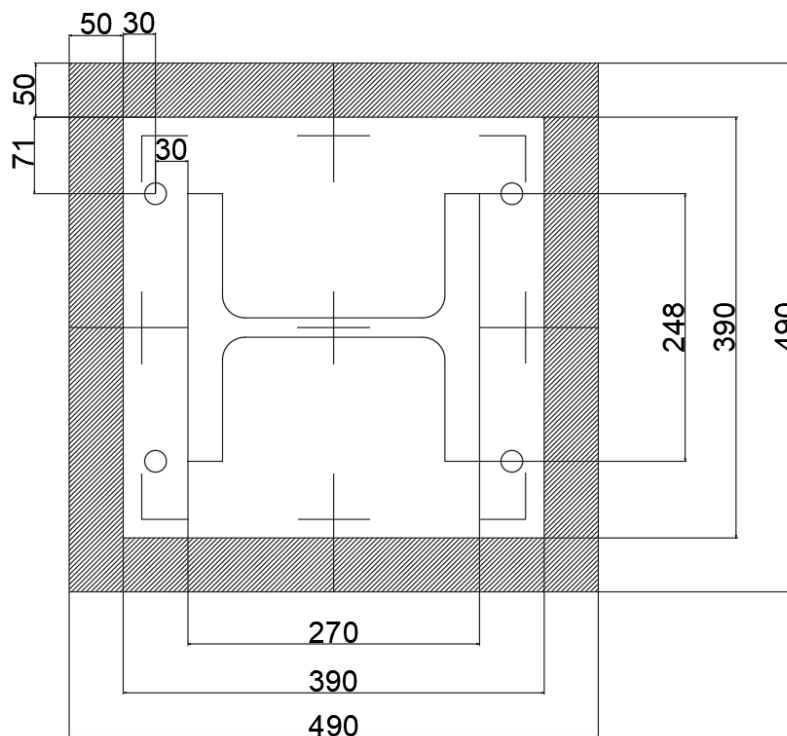


Imagen 70: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje del soporte largo Ñ

Datos geométricos placa original			
a=	390 mm	b=	390 mm
a1=	490 mm	b1=	490 mm
ar=	50 mm	br=	50 mm

Tabla 85: datos geométricos de la placa de anclaje del soporte corto W

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} \leq 3,3 f_{cd}$$

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} \leq 5 = 1,256$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 13,96 \text{ N/mm}^2$$

a1=a+2ar	490 mm	b1=b+2br	490 mm
a1=5a	1950 mm	b1=5b	1950 mm
a1=a+h	695 mm	b1=b+h	695 mm
a1=5·b1	2450 mm	b=5·a1	2450 mm

Tabla 86: valores para el dimensionamiento de la placa

$$c \leq t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

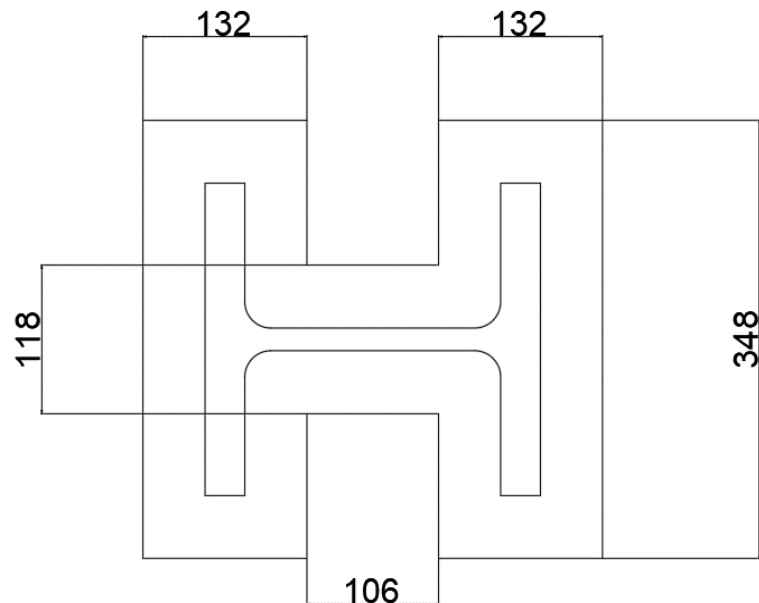


Imagen 71: representación del área portante de la placa de anclaje del soporte largo Ñ

- **Análisis de las solicitaciones: compresión compuesta**

Sí, $\rightarrow e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \leq \frac{a}{6}$ es compresión compuesta, en caso contrario se tratará de un caso de flexocompresión

$$\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 64,4 \text{ mm} \leq \frac{a}{6} = 65,1 \text{ mm}$$

Se confirma que se trata de compresión compuesta



- **Esfuerzos en la placa:**

- Ley de Navier

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{Ed}}{A_p} + \frac{M_{Ed}}{I_{p,y}} \cdot Z_{\max} \leq f_{cd}$$

$$\text{Área de la zona portante} = 104380 \text{ mm}^2 = A_p$$

$$\text{Momento de inercia zona portante} = 1.446.109.193 \text{ mm}^4 = I_{p,y}$$

$$\frac{30000 \text{ N}}{104380 \text{ mm}^2} + \frac{19,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1446109193 \text{ mm}^4} \cdot 174 \text{ mm} = 2,64 \text{ MPa} \ll 16,667 \text{ MPa}$$

Si cumple.

hc=	270 mm	b'=	390 mm
a'=	370 mm	g=	50 mm
a=	390 mm	t=	20 mm

Tabla 87: valores gráficos

$$\sum M_T = 0 \rightarrow M_{Ed} + N_{Ed} \left(\frac{a}{2} - g \right) - x \cdot b' \cdot f_{jd} \left(\frac{a}{2} - g + \frac{h_c}{2} + c - \frac{x}{2} \right) = 0$$

$$x_1 = 646,4 \text{ mm} \quad x_2 = 13,6 \text{ mm}$$

$$x_2 = 13,6 \text{ mm} < (50 + 32 + 50) \text{ mm}$$

$$\sum F_v = 0 \rightarrow T + N_{Ed} - x \cdot b' \cdot f_{jd} = 0$$

$$T = 43.748,4 \text{ N} = 43,7 \text{ kN}$$

Son válidas las dimensiones originales de la placa

- **Espesor de la placa:**

- Momentos en la sección 1:

$$M_{1Ed} = b' \cdot f_{jd} \cdot x \left(\frac{x}{2} + c - x \right) = 3.199.943,79 \text{ mm} \cdot \text{N}$$

- Momentos en la sección 2:

$$M_{2Ed} = T \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_c}{2} - g \right) = 1.312.452,4 \text{ mm} \cdot \text{N}$$

La sección 1 (M_{1Ed}) es la más solicitada.

Momento actuante:

$$M_{1Ed}^* = \frac{M_{1Ed}}{b'} = \frac{3.199.943,79 \text{ mm} \cdot \text{N}}{390 \text{ mm}} = 8.204,98 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente:

$$M_{p,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_{yd}}{4} = 26.190,5 \text{ mm N/mm}$$

Momento resistente \gg **Momento actuante**

Al ser el momento resistente mayor que el momento actuante, se confirma que el espesor de 20mm es correcto.

- Dimensionamiento de los pernos de anclaje

Acero B 400S

Axil a soportar = 43.748,4 N

Se van a seleccionar 2 redondos de 18mm de diámetro en acero B400S para cumplir con las siguientes limitaciones.

Longitud de barra de anclaje por prolongación recta:

$$l_{b1} = m \cdot \phi^2 \geq \frac{f_{jd}}{20} \phi \left[\begin{array}{l} l_{b1} = 12 \cdot 1,8^2 = 38,88 \text{ cm} \\ l_{b1} = \frac{400}{20} \cdot 1,8 = \mathbf{36 \text{ cm}} \end{array} \right]$$

- Longitud neta:

$$l_{bNeta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_S}{A_{Sreal}} = 2,9 \text{ mm}$$

$$A_S = \frac{T}{f_{yd}} = 27,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sreal} = 2\pi \cdot r^2 = 307,88 \text{ mm}^2$$

- Limitaciones

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 10 \cdot \phi = 180 \text{ mm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow 15 \text{ cm}$$

$$\text{longitud minima anclajes} \rightarrow \frac{2}{3} \cdot l_b = 25,92 \text{ cm}$$

$$\text{diametro minim anclajes} \rightarrow \phi_{min} = 120 \text{ mm}$$

La placa llevara 4 ϕ 18 (B400S) de 30 cm de longitud en prolongación recta

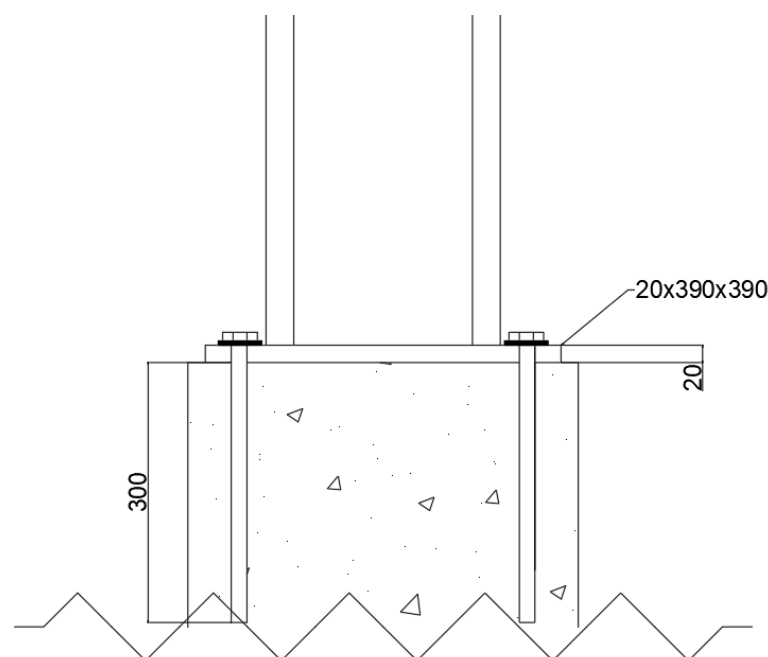


Imagen 72: representación del anclaje de la placa en el cemento que sobresale del pavimento

12. Cálculos digitales de los elementos estructurales

En este apartado se van a simular los diferentes elementos estructurales del modelo. Serán los mismos que los elementos comprobados analíticamente.

Para la simulación de cálculos se ha elegido el programa "Inventor Professional 2020" de la compañía Autodesk®, bastante conocido y utilizado, entre otras cosas, por estudiarse en la escuela (por lo que no se va a explicar en profundidad el funcionamiento del programa ni el modelado de las piezas).

Los estudios se van a enfocar en el desplazamiento de las piezas, por lo que las cargas estarán en Estado Límite de Servicio, tal y como se han explicaba en el apartado "1.2.1.2. Estado límite de servicio", son cargas sin mayorar.

Primero se van a simular los elementos individualmente, tal y como se ha hecho con los cálculos analíticos, y dada la complejidad de simulación de los pilares, se simulará el Rack en conjunto, para comprobar los datos de los pilares.

12.1. Viga Transversal AB

La viga transversal AB, se ha simulado respecto a la hipótesis de cálculo que aparece en el apartado "1.2.3.2.1. Hipótesis 1". Esta distribución de cargas se puede ver en la siguiente imagen.

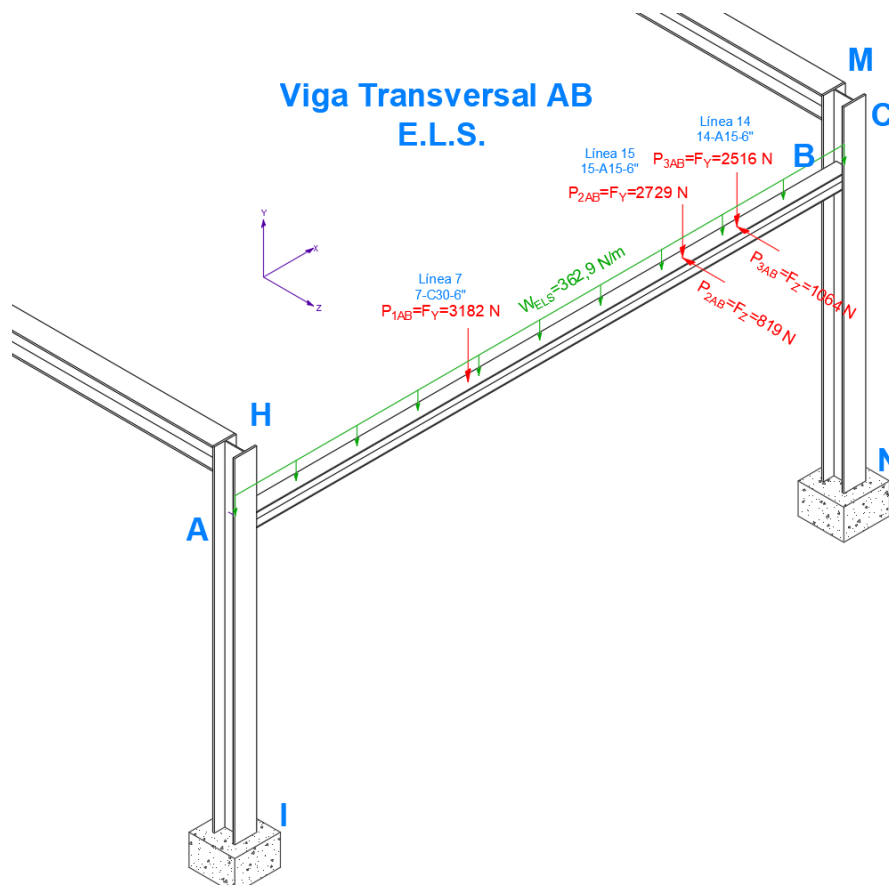


Imagen 73: valores de carga de la viga transversal AB en ELS

La viga transversal AB se va a construir con un perfil HEB-140 en acero S-275.



Para el diseño en inventor, se ha creado una línea de 6100mm, se ha insertado un perfil HEB-140 y se han colocado dos restricciones fijas en los extremos del perfil, biempotrando la viga transversal AB. Después se han colocado las cargas tal y como se muestran a continuación.

- Propiedades físicas

Masa	205,695 kg
Área	49215,204 mm ²
Volumen	26203,225 mm ³
Centro de gravedad	x=7,047 mm y=0,329 mm z=8,301 mm

Tabla 88: propiedades físicas de la viga transversal AB

- Material de fabricación

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,290 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 140 B 1615145981451.ipt	

Tabla 89: propiedades del material de fabricación de la viga transversal AB

- Propiedades de los perfiles

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	4295,611 mm ²
	Anchura de sección	140,000 mm
	Altura de sección	140,000 mm
	Centroide de sección (x)	70,000 mm
	Centroide de sección (y)	70,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	15092308,802 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	5496663,111 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	201832,892 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	215604,411 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	78523,759 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	11295,031 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	2355,290 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	860,920 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN HE 140 B 1615145981451.ipt	

Tabla 90: propiedades geométricas y mecánicas del perfil de la viga transversal AB



- Cargas

- P1y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	3182,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F	0,000 N
Fy	-3182,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	2337,000 mm

Tabla 91: valores carga P1y

- P2y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2729,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-2729,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	4486,000 mm

Tabla 92: valores carga P2y

- P3y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2516,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-2516,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	5030,000 mm

Tabla 93: valores carga P1y

- P2z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	819,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-819,000 N
Desfase	4486,000 mm

Tabla 94: valores carga P2y

- P3z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1064,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-1064,000 N
Desfase	5030,000 mm

Tabla 95: valores carga P1y

- WEL_SAB

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	0,363 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	0,000 N/mm
Qy	-0,363 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	6100,000 mm
Magnitud final	0,363 N/mm

Tabla 96: valores carga P2y

12.1.1. Resultados viga transversal AB

- Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:1	3929,357 N	0,000 N	5218700,112 N mm	0,000 N mm
		3922,713 N		-421882,749 N mm
		228,397 N		5201619,537 N mm
Restricción fija:2	6918,737 N	0,000 N	7249971,216 N mm	0,000 N mm
		6717,977 N		1489009,919 N mm
		1654,603 N		-7095416,273 N mm

Tabla 97: resultados de cálculo en los extremos empotrados

- Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	2,387 mm
Fuerzas	Fx	-228,397 N	1654,603 N
	Fy	-6717,977 N	3922,713 N
	Fz	0,000 N	0,000 N
Momentos	Mx	-7095416,273 N mm	2961773,649 N mm
	My	-1489009,919 N mm	586167,185 N mm
	Mz	0,000 N mm	0,000 N mm
Tensiones normales	Smax	1,821 MPa	51,872 MPa
	Smin	-51,872 MPa	-1,821 MPa
	Smax(Mx)	0,038 MPa	32,909 MPa
	Smin(Mx)	-32,909 MPa	-0,038 MPa
	Smax(My)	0,050 MPa	18,963 MPa
	Smin(My)	-18,963 MPa	-0,050 MPa
	Saxial	0,000 MPa	0,000 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,703 MPa	0,097 MPa
	Ty	-4,556 MPa	7,803 MPa
Tensiones de torsión	T	0,000 MPa	0,000 MPa

Tabla 98: resultados estáticos en la viga transversal AB en ELS

12.1.2. Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB

- Deformación

Tipo: Desplazamiento
Unidades: mm
02/06/2021, 16:17:54

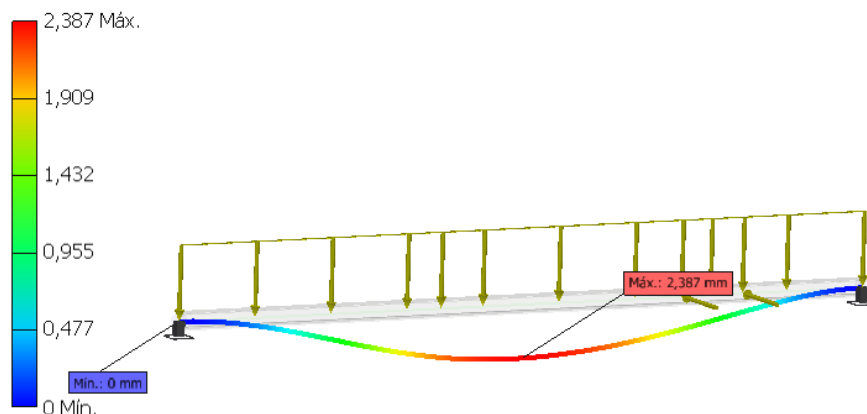


Imagen 74: representación del desplazamiento máximo en la viga transversal AB

- **F_x**

Tipo: Fuerza F_x
Unidades: N
02/06/2021, 16:17:54

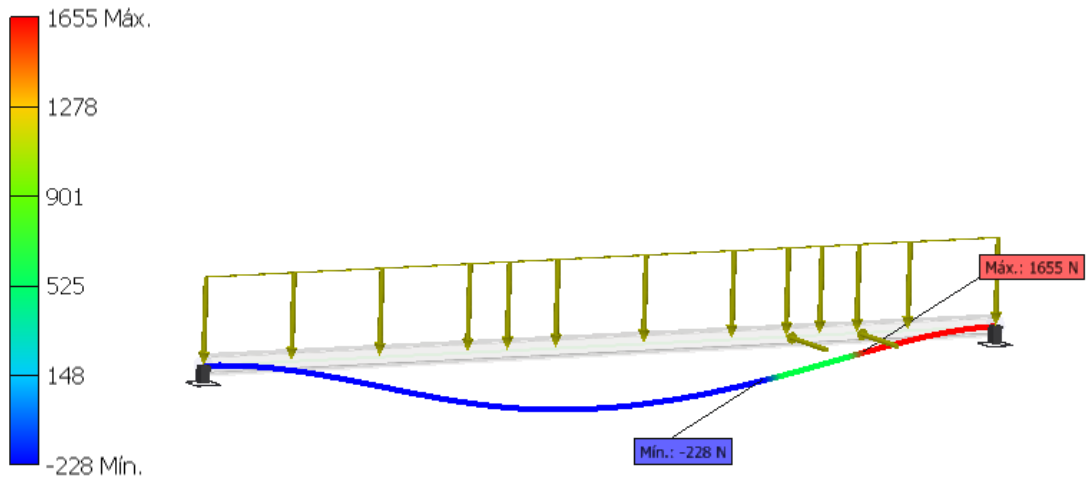


Imagen 75: representación de los valores de la fuerza en dirección X de la viga transversal AB

- **F_y**

Tipo: Fuerza F_y
Unidades: N
02/06/2021, 16:17:54

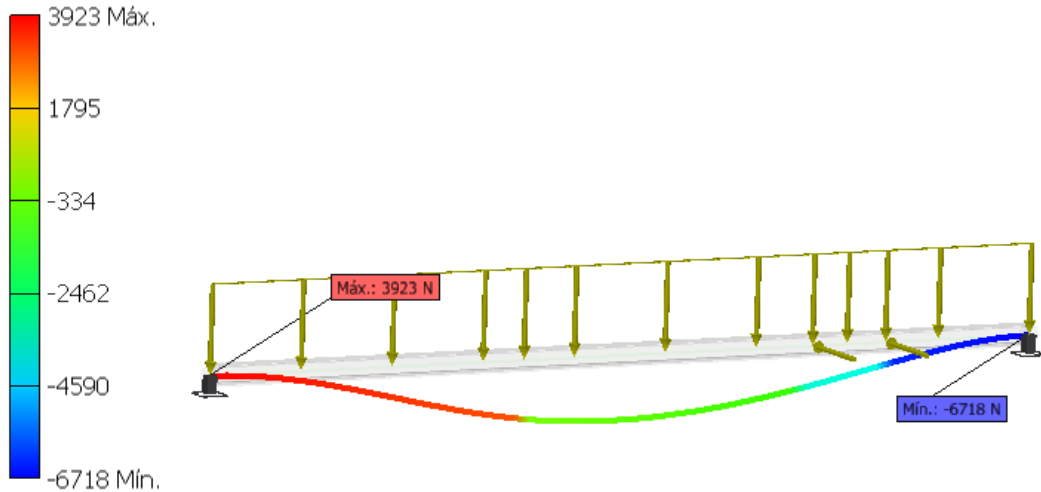


Imagen 76: representación de los valores de la fuerza en dirección Y de la viga transversal AB

- **F_z**

El análisis de la viga transversal AB por inventor, no produce ningún esfuerzo en esta dirección.

- **Mx**

Tipo: Momento Mx
Unidades: N mm
02/06/2021, 16:17:54

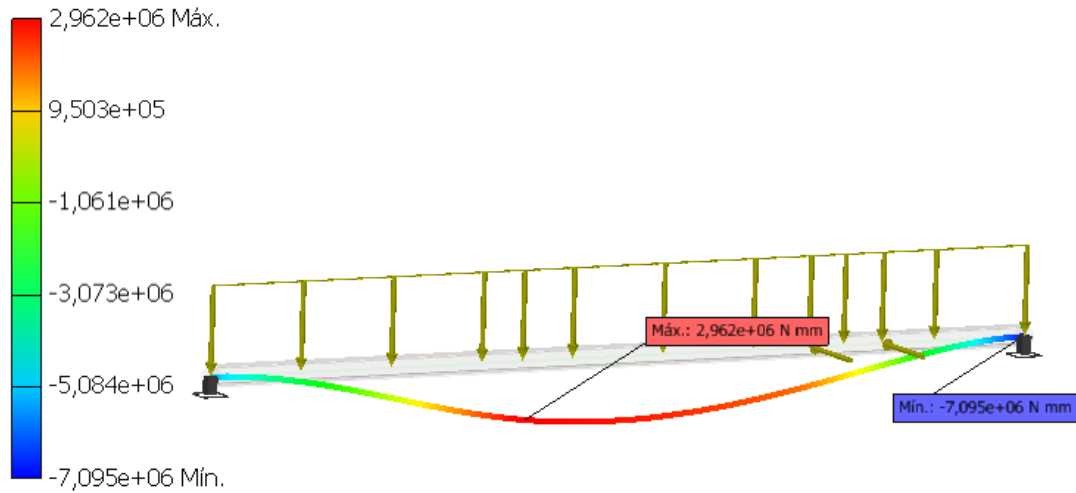


Imagen 77: representación de los valores de momentos respecto al eje X

- **My**

Tipo: Momento My
Unidades: N mm
02/06/2021, 16:17:54

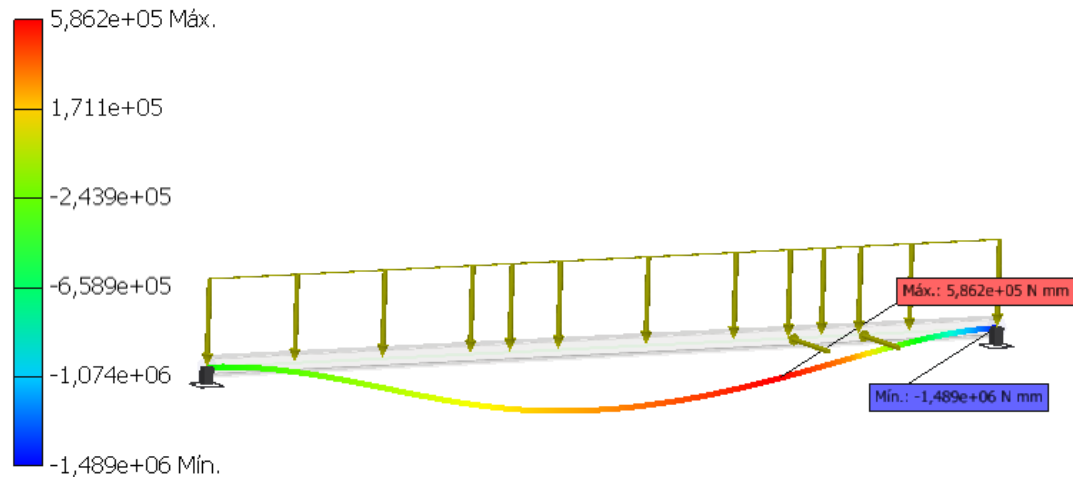


Imagen 78: representación de los valores de momentos respecto al eje Y

- **Mz**

El análisis de la viga transversal AB por inventor, no produce ningún moento en esta dirección.

- $S_{Máx}$ (Mx)

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
02/06/2021, 21:05:13

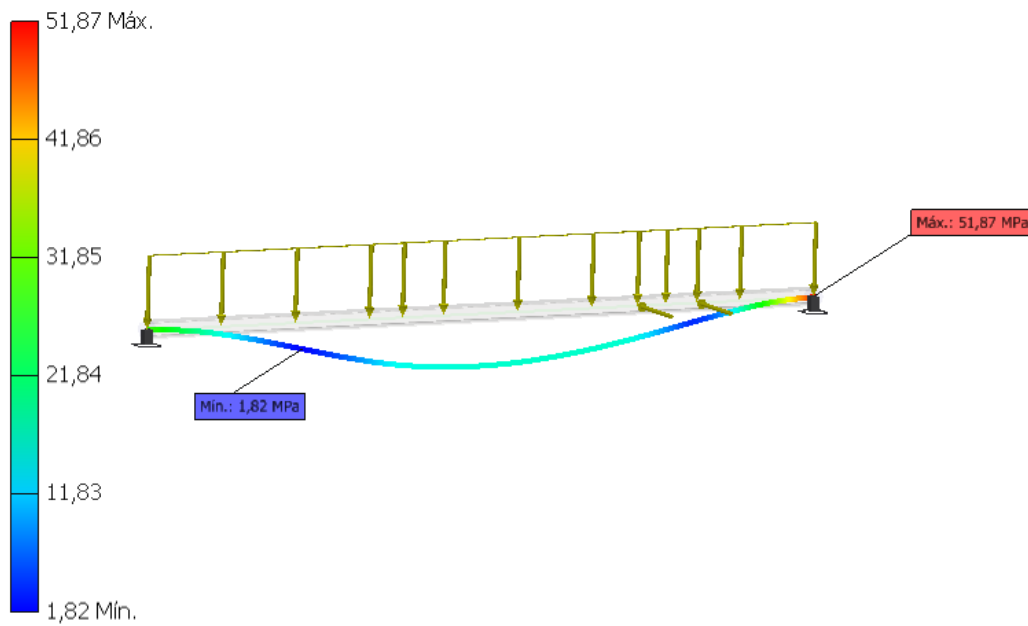


Imagen 79: representación de los valores de tensión normal máxima para la viga transversal AB

- $S_{Mín}$

Tipo: Tensión normal Smin
Unidades: MPa
02/06/2021, 16:17:55

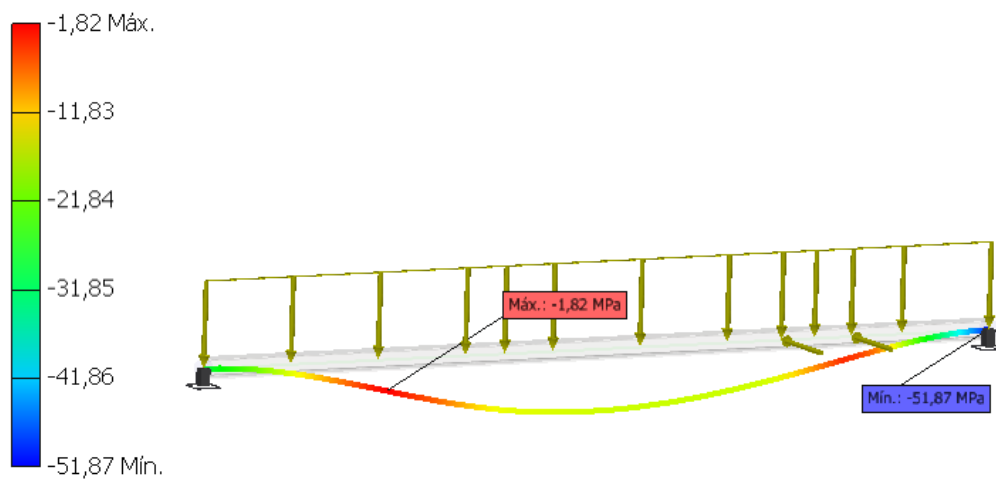


Imagen 80: representación de los valores de tensión normal mínima para la viga transversal AB

- **Tensión de corte Tx**

Tipo: Tensión de corte Tx
Unidades: MPa
02/06/2021, 16:17:55

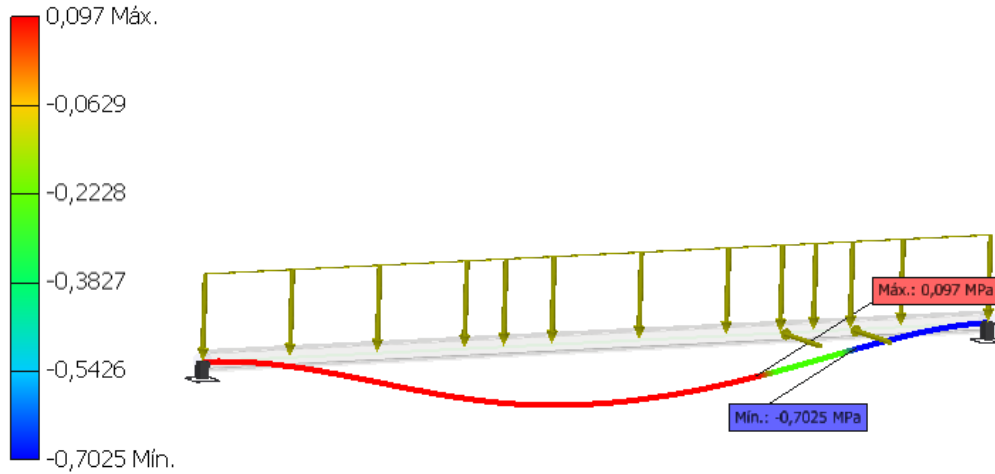


Imagen 81: representación de los valores de corte en el eje X de la viga transversal AB

- **Tensión de corte Ty**

Tipo: Tensión de corte Ty
Unidades: MPa
02/06/2021, 21:05:14

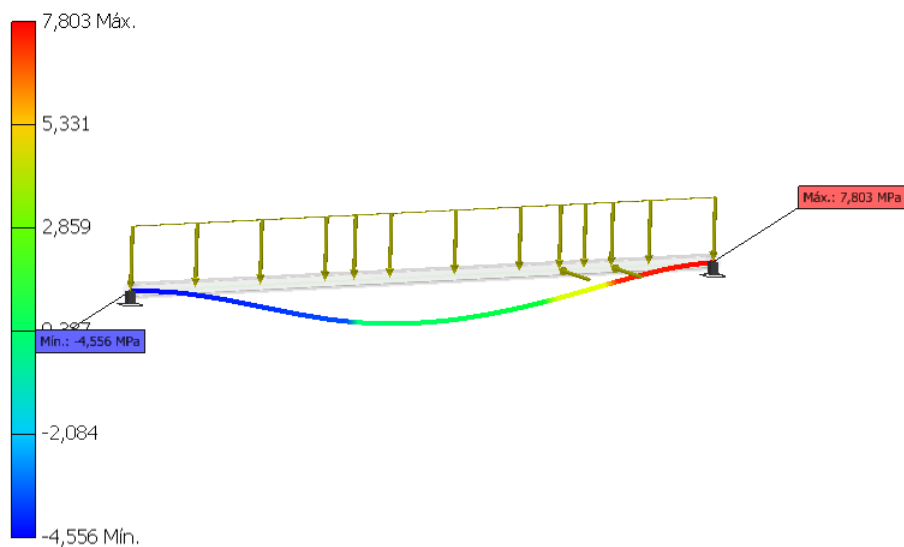


Imagen 82: representación de los valores de corte en el eje Y de la viga transversal AB

- **Tensión torsional**

Según el estudio en inventor de la viga transversal AB, no existen tensiones torsionales.

12.2. Viga transversal CD

La viga transversal CD se ha simulado de acuerdo con los valores obtenidos en el apartado "1.2.4.2.1. Hipótesis 1". hipótesis de cálculo.

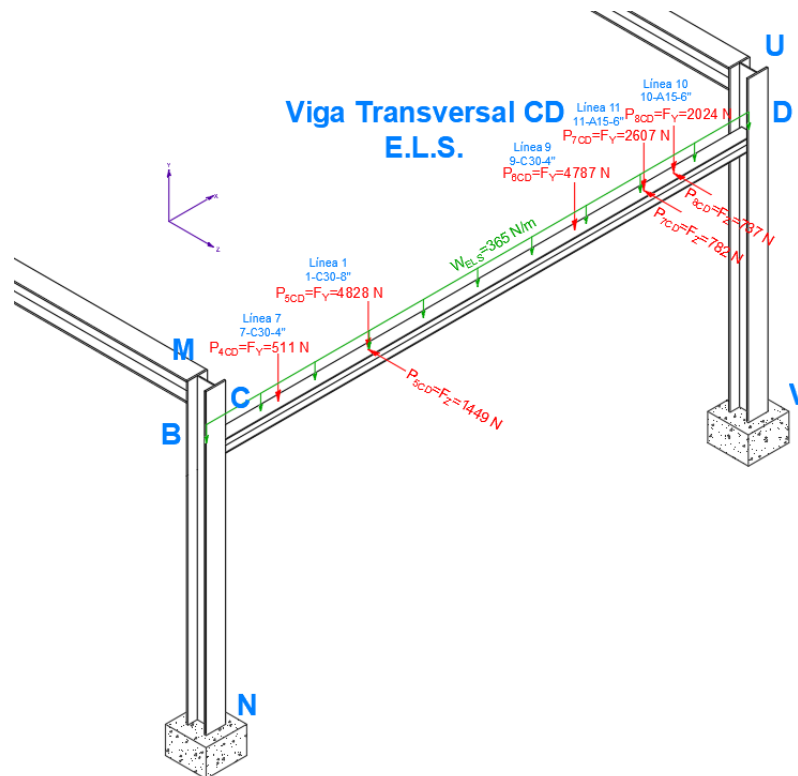


Imagen 83: valores de carga de la vida transversal CD en ELS

La viga transversal CD, se ha creado de la misma forma que la viga transversal AB.

Se ha fabricado con un perfil HEB-140 en acero S-275.

- **Propiedades físicas**

Masa	205,695 kg
Área	49215,204 mm ²
Volumen	26203,225 mm ³
Centro de gravedad	x=7,047 mm y=0,329 mm z=8,301 mm

Tabla 99: propiedades físicas de la viga transversal CD

- **Material de fabricación**

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,290 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 140 B 1615145981451.ipt	

Tabla 100: propiedades del material de fabricación de la viga transversal CD

- Propiedades de los perfiles

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	4295,611 mm ²
	Anchura de sección	140,000 mm
	Altura de sección	140,000 mm
	Centroide de sección (x)	70,000 mm
	Centroide de sección (y)	70,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	15092308,802 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	5496663,111 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	201832,892 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	215604,411 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	78523,759 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _t)	11295,031 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	2355,290 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	860,920 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN HE 140 B 1615145981451.ipt	

Tabla 101: propiedades geométricas y mecánicas del perfil de la viga transversal CD

- Cargas

- P4y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	511,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F_x	0,000 N
F_y	-511,000 N
F_z	0,000 N
Desfase	811,0 mm

Tabla 102: valores carga P4y

- P5y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	4828,0 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F_x	0,000 N
F_y	-4828,0 N
F_z	0,000 N
Desfase	1825,0 mm

Tabla 103: valores carga P5y

- P6y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	4787,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F_x	0,000 N
F_y	-4787,000 N
F_z	0,000 N
Desfase	4146,0 mm

Tabla 104: valores carga P6y

- P7y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2607,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F_x	0,000 N
F_y	-2607,000 N
F_z	0,000 N
Desfase	4924,0 mm

Tabla 105: valores carga P7y



- P8y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2024,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-2024,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	5261,0 mm

Tabla 106: valores carga P8y

- P5z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1449,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-1449,000 N
Desfase	1825,0 mm

Tabla 107: valores carga P5z

- P7z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	782,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-782,000 N
Desfase	4924,00 mm

Tabla 108: valores carga P7z

- P8z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	737,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-737,000 N
Desfase	5261,0 mm

Tabla 109: valores carga P8z

- W_{CDELS}

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	0,365 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	0,000 N/mm
Qy	-0,277 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	6100,000 mm
Magnitud final	0,365 N/mm

Tabla 110: valores carga repartida WCD-ELS

12.2.1. Resultados viga transversal CD

- Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:1	7018,717 N	0,000 N	8620167,755 N mm	0,000 N mm
		6906,240 N		-1515267,826 N mm
		1251,490 N		8485944,588 N mm
Restricción fija:2	10222,405 N	0,000 N	10730864,657 N mm	0,000 N mm
		10077,260 N		1613631,743 N mm
		1716,510 N		-10608847,670 N mm

Tabla 111: resultados de cálculo en los extremos empotrados de la viga transversal CD

- Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	3,601 mm
Fuerzas	Fx	-1251,490 N	1716,510 N
	Fy	-10077,260 N	6906,240 N
	Fz	0,000 N	0,000 N
Momentos	Mx	-10608847,670 N mm	4091203,208 N mm
	My	-1613631,743 N mm	767712,999 N mm
	Mz	0,000 N mm	0,000 N mm
Tensiones normales	Smax	2,358 MPa	69,755 MPa
	Smin	-69,755 MPa	-2,358 MPa
	Smax(Mx)	0,845 MPa	49,205 MPa
	Smin(Mx)	-49,205 MPa	-0,845 MPa
	Smax(My)	0,147 MPa	20,550 MPa
	Smin(My)	-20,550 MPa	-0,147 MPa
	Saxial	0,000 MPa	0,000 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,729 MPa	0,531 MPa
	Ty	-8,022 MPa	11,705 MPa
Tensiones de torsión	T	0,000 MPa	0,000 MPa

Tabla 112: resultados estáticos en la viga transversal AB en ELS

12.2.2. Representación gráfica de los resultados en la viga transversal AB

- Deformación

Tipo: Desplazamiento
Unidades: mm
07/06/2021, 17:01:12

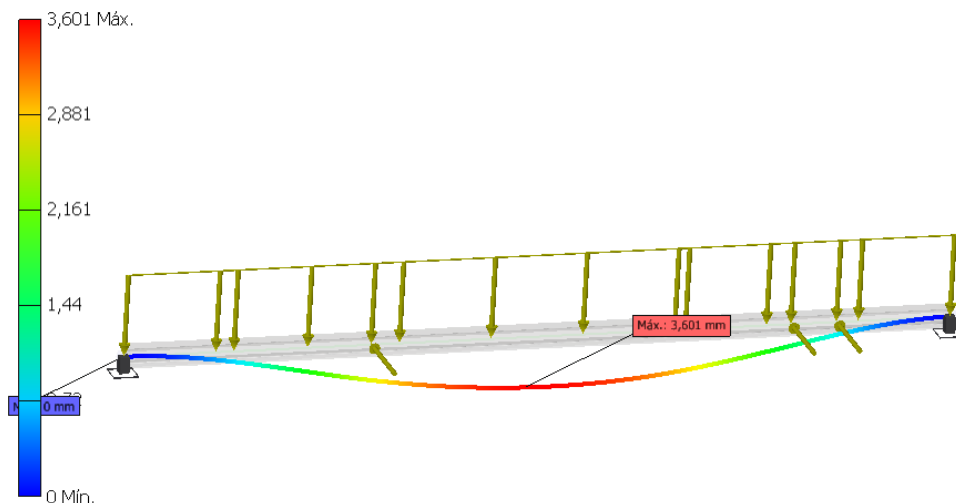


Imagen 84: representación del desplazamiento máximo en la viga transversal CD

- **F_x**

Tipo: Fuerza F_x
Unidades: N
02/06/2021, 16:28:55

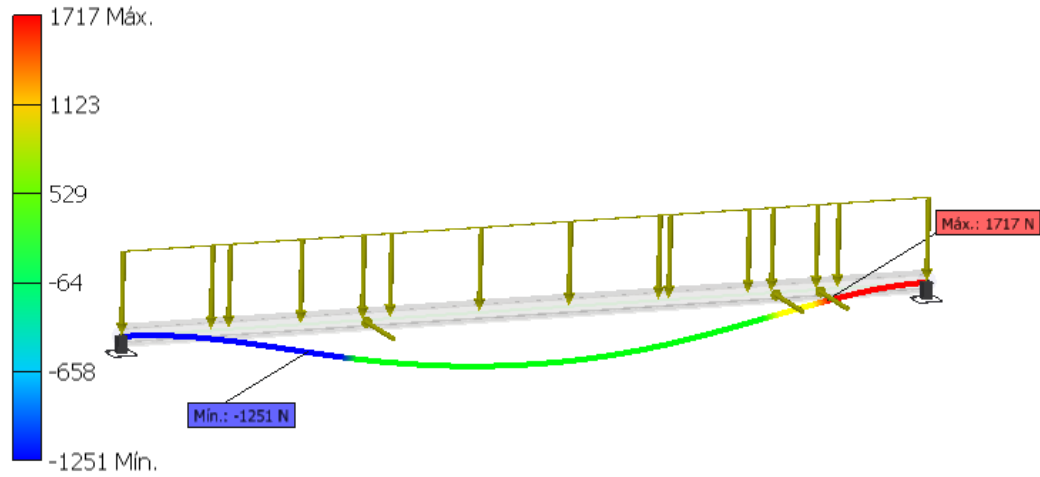


Imagen 85: representación de los valores de la fuerza en dirección X de la viga transversal CD

- **F_y**

Tipo: Fuerza F_y
Unidades: N
07/06/2021, 17:01:12

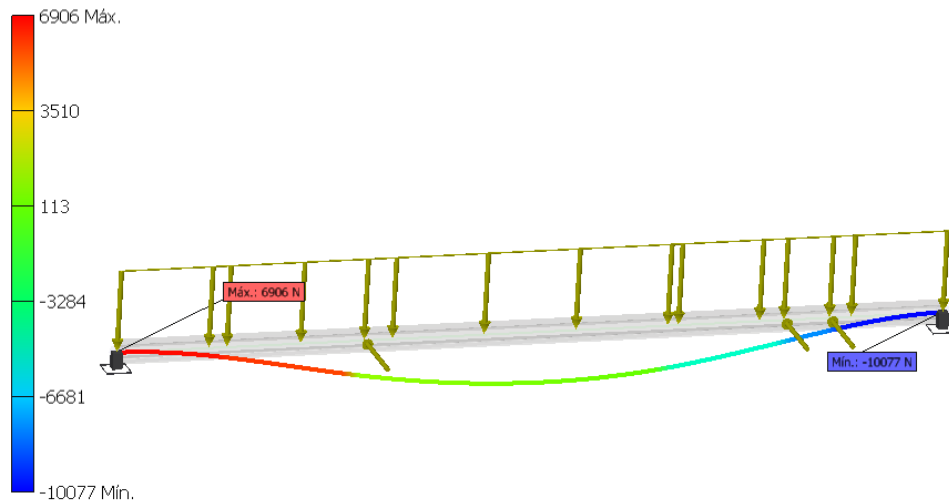


Imagen 86: representación de los valores de la fuerza en dirección Y de la viga transversal CD

- **F_z**

El análisis de la viga transversal AB por inventor, no produce ningún esfuerzo en esta dirección.

- **Mx**

Tipo: Momento Mx
Unidades: N mm
07/06/2021, 17:01:12

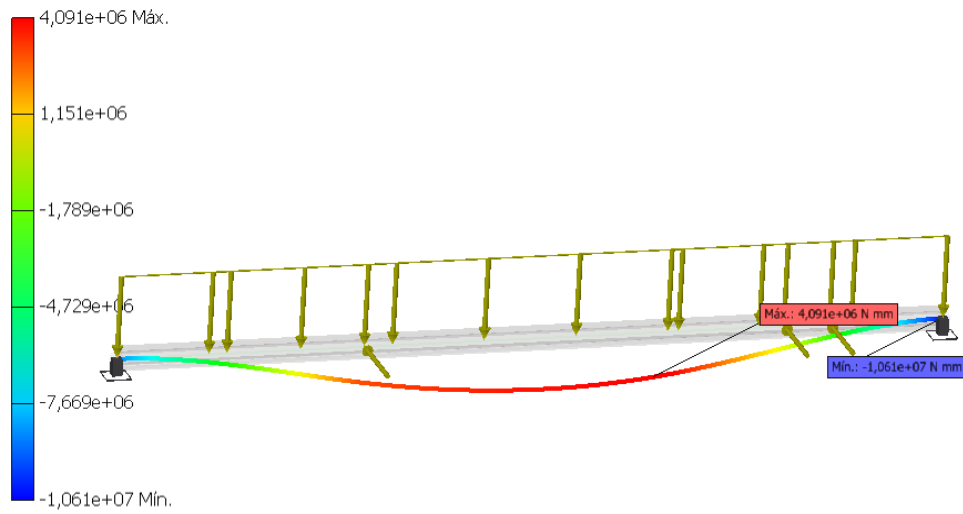


Imagen 87: representación de los valores de momentos respecto al eje X en la v.transversal CD

- **My**

Tipo: Momento My
Unidades: N mm
07/06/2021, 17:01:12

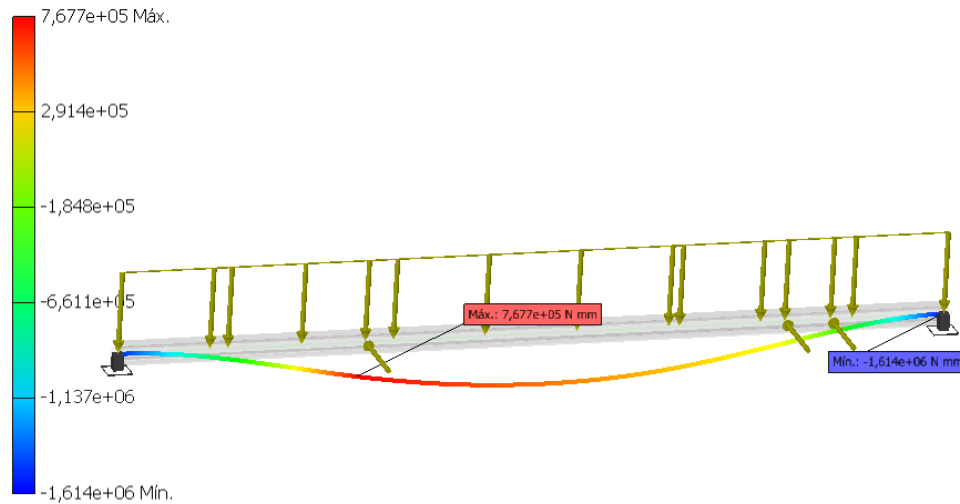


imagen 88: representación de los valores de momentos respecto al eje Y

- **Mz**

El análisis de la viga transversal AB por inventor, no produce ningún momento en esta dirección.

- $S_{Máx}$ (Mx)

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
07/06/2021, 17:01:12

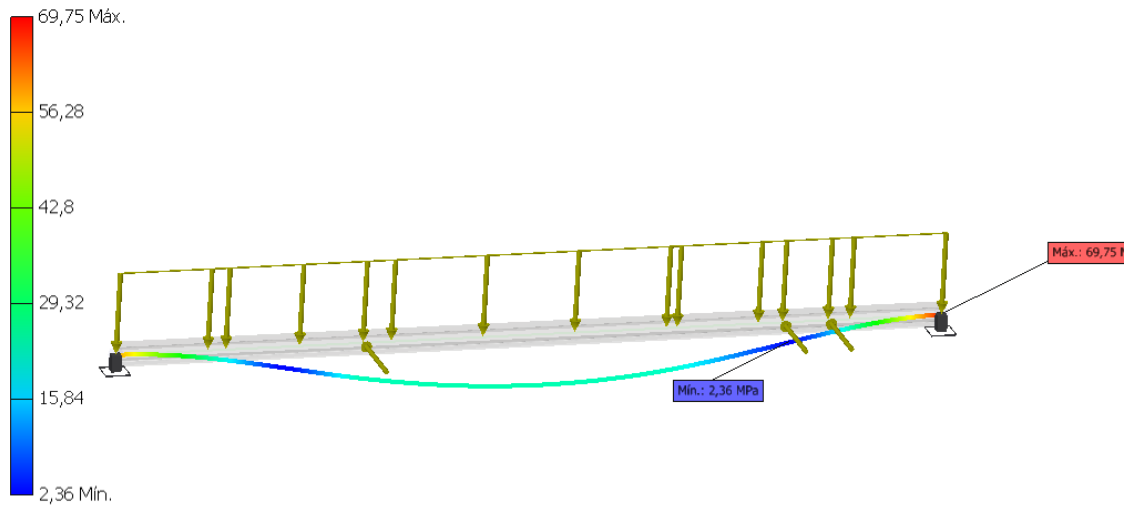


Imagen 89: representación de los valores de tensión normal máxima para la viga transversal AB

- $S_{Mín}$

Tipo: Tensión normal Smin
Unidades: MPa
07/06/2021, 17:01:12

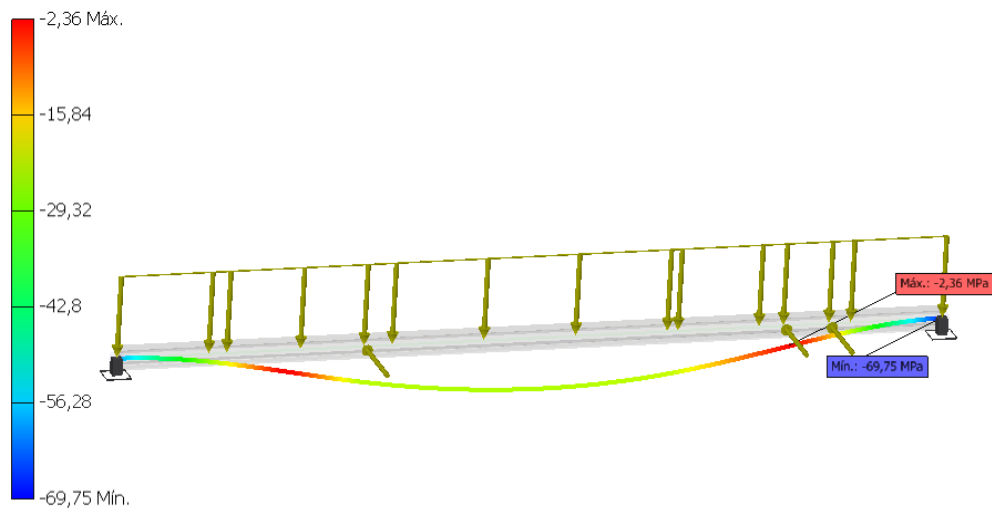


Imagen 90: representación de los valores de tensión normal mínima para la viga transversal AB

- **Tensión de corte Tx**

Tipo: Tensión de corte Tx
Unidades: MPa
02/06/2021, 16:28:57

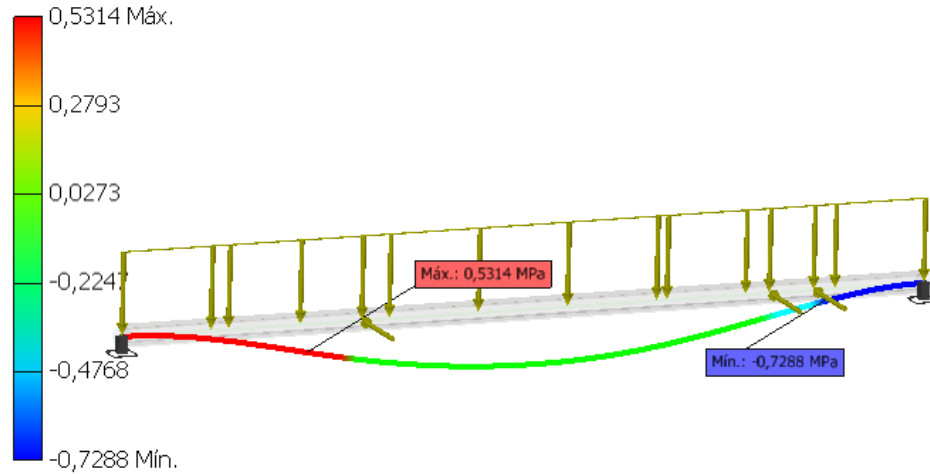


Imagen 91: representación de los valores de corte en el eje X de la viga transversal CD

- **Tensión de corte Ty**

Tipo: Tensión de corte Ty
Unidades: MPa
07/06/2021, 17:01:13

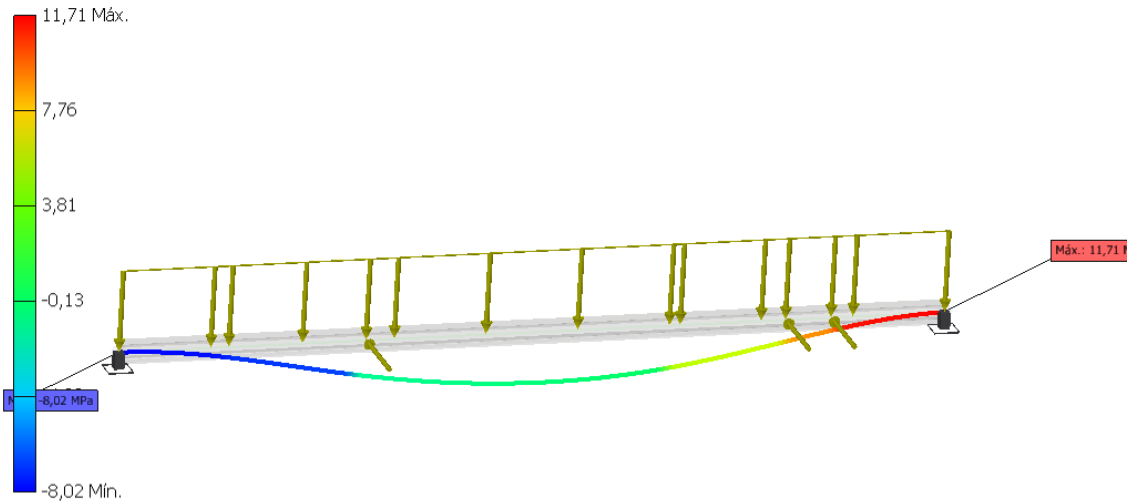


Imagen 92: representación de los valores de corte en el eje Y de la viga transversal CD

- **Tensión torsional**

Según el estudio en inventor de la viga transversal CD, no existen tensiones torsionales.

12.3. Pórtico

Para la creación del pórtico, se ha creado primero una estructura a una sola línea con las dimensiones reales del elemento. Para esta estructura se ha seleccionado un perfil HEB-220 en acero S-275. Se le han colocado dos restricciones fijas en la unión del pilar con los cimientos y se ha cargado el dintel con una carga repartida. El valor de esta carga repartida es el mismo que el utilizado en los cálculos analíticos y obtenido en el apartado "1.2.2.2.1. Hipótesis 1".

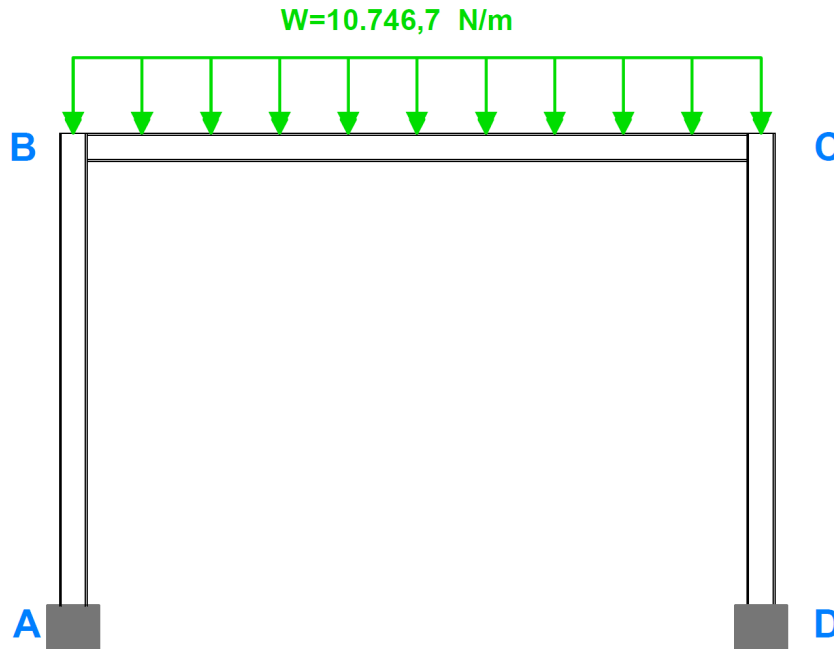


Imagen 93: hipótesis de cálculo para el pórtico en ELS

- **Propiedades físicas del elemento**

Masa	855,679 kg
Área	152615,001 mm ²
Volumen	109003,676 mm ³
Centro de gravedad	x=-3117,288 mm y=438,155 mm z=-0,808 mm

Tabla 113: propiedades físicas de los pórticos

- **Materiales**

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,300 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 220 B 1620001442129.ipt DIN HE 220 B 1620001442130.ipt DIN HE 220 B 1620001466191.ipt	

Tabla 114: materiales de fabricación del pórtico y sus propiedades

- Propiedades secciones

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	9104,124 mm ²
	Anchura de sección	220,000 mm
	Altura de sección	220,000 mm
	Centroide de sección (x)	110,000 mm
	Centroide de sección (y)	110,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	80909652,152 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	28432661,460 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	769621,834 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	735542,292 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	258478,741 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	31683,298 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	4900,209 mm ²
Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	1858,761 mm ²	
Nombre(s) de pieza	DIN HE 220 B 1620001442129.ipt	
	DIN HE 220 B 1620001442130.ipt	
	DIN HE 220 B 1620001466191.ipt	

Tabla 115: propiedades geométricas y mecánicas de las secciones

- Cargas

Sobre el dintel se encuentra la fuerza repartida $W_{p\acute{o}rtico}$ ELS con las siguientes propiedades iguales a las calculadas en el apartado "1.2.2.2.1. Hipótesis 1".

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	10,747 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Q_x	0,000 N/mm
Q_y	-10,747 N/mm
Q_z	0,000 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	4657,000 mm
Magnitud final	10,747 N/mm

Tabla 116: propiedades de la carga repartida sobre el dintel

12.3.1. Resultados pórtico

- Fuerzas y pares de reacciones en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (F _x , F _y , F _z)	Magnitud	Componentes (M _x , M _y , M _z)
Restricción fija:1	25923,765 N	0,000 N	7986448,265 N mm	7986448,265 N mm
		25023,691 N		0,000 N mm
		6771,741 N		0,000 N mm
Restricción fija:2	25923,765 N	-0,000 N	7986448,265 N mm	-7986448,265 N mm
		25023,691 N		-0,000 N mm
		-6771,741 N		-0,000 N mm

Tabla 117: valores en los empotramientos del pórtico

- Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	1,893 mm
Fuerzas	Fx	-0,000 N	0,000 N
	Fy	-25023,691 N	25023,691 N
	Fz	-0,000 N	25023,691 N
Momentos	Mx	-15793738,645 N mm	15846749,921 N mm
	My	-0,000 N mm	0,000 N mm
	Mz	-0,000 N mm	0,000 N mm
Tensiones normales	Smax	-2,667 MPa	20,800 MPa
	Smin	-24,221 MPa	-0,000 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	21,544 MPa
	Smin(Mx)	-21,544 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	-0,000 MPa	0,000 MPa
	Smin(My)	-0,000 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-2,749 MPa	0,000 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,000 MPa	0,000 MPa
	Ty	-13,463 MPa	13,463 MPa
Tensiones de torsión	T	-0,000 MPa	0,000 MPa

Tabla 118: resultados del pórtico en ELS

- Desplazamientos

Como se comentó al principio del apartado de cálculos digitales, los datos de tensiones no son muy altos, por lo que las limitaciones vienen dadas por la deformación del elemento. En este caso, tras su análisis, obtenemos una deformación máxima en el centro del dintel de 1,807 mm, una deformación muy muy similar a la calculada analíticamente en el apartado "4.2.1. Deformaciones en el dintel" y que son aceptada para nuestro modelo.

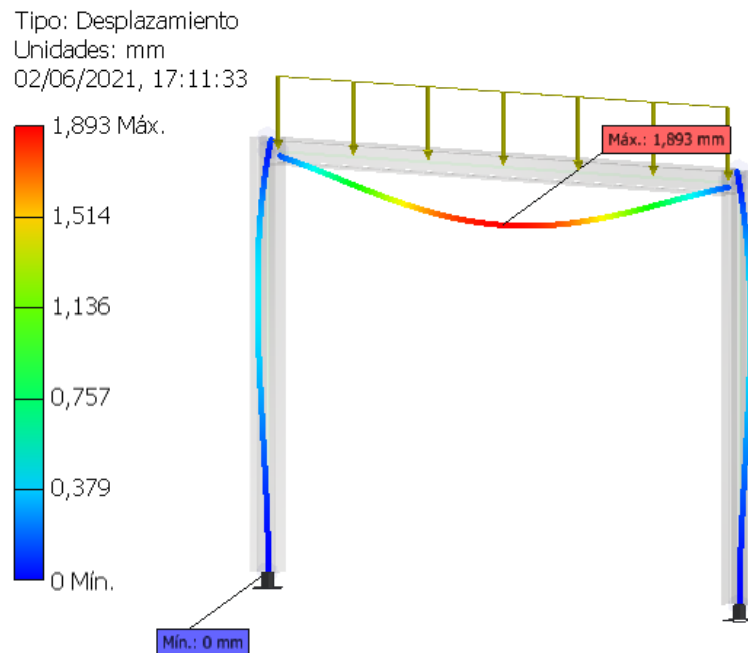


Imagen 94: desplazamientos máximos en el pórtico

- FX

En esta dirección, el programa calcula que no hay ningún esfuerzo

- FY

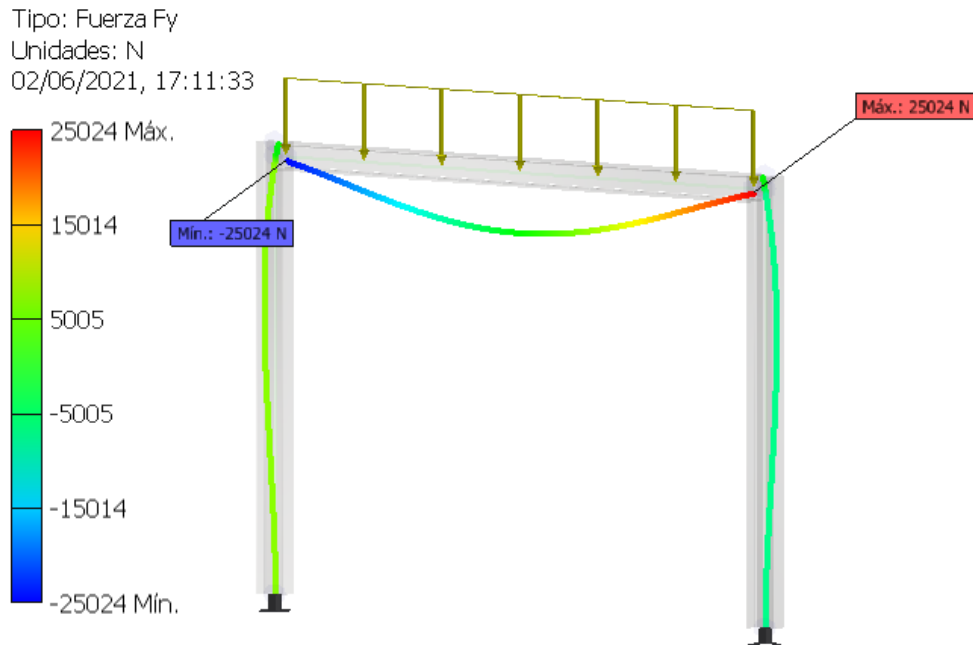


Imagen 95: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y

- FZ

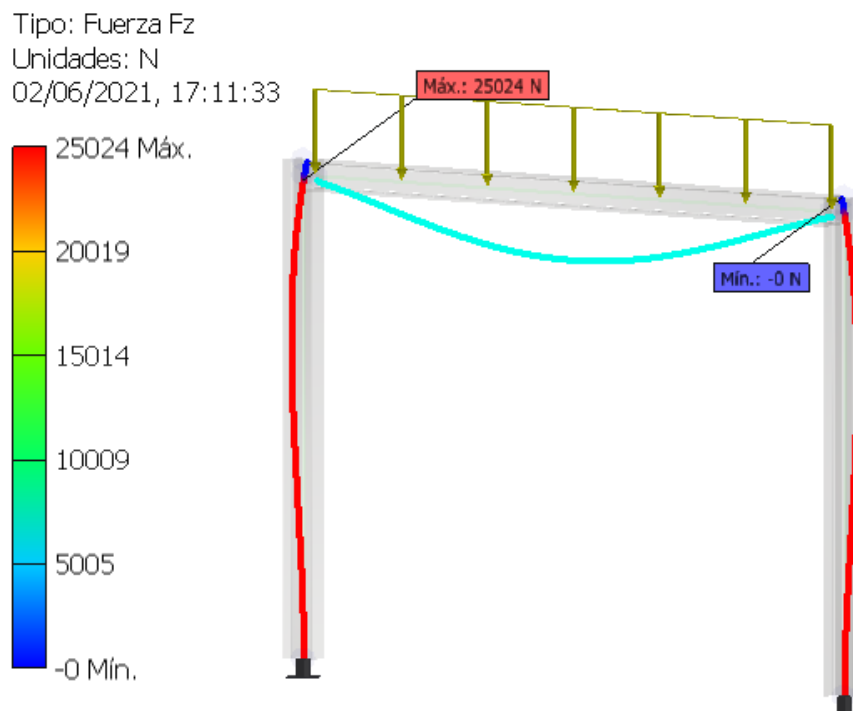


Imagen 96: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y

- **MX**

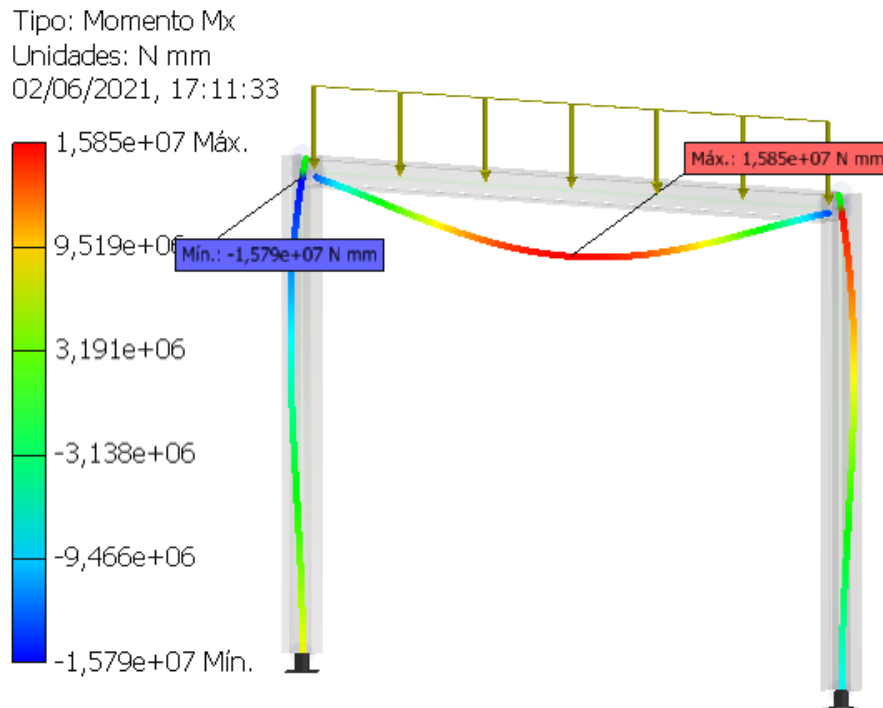


Imagen 97: valores del momento en el eje X

- **MY**

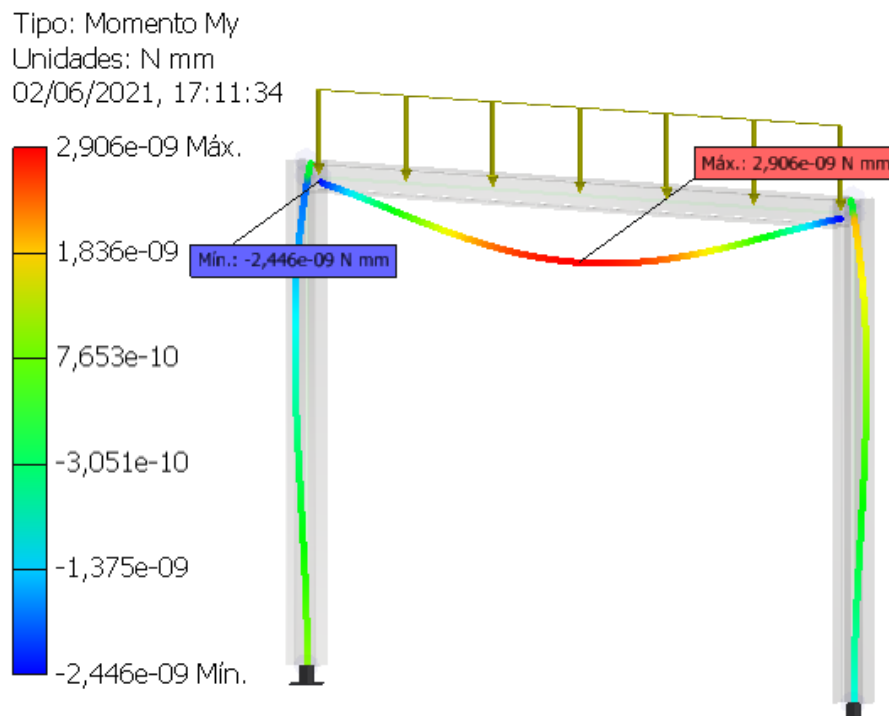


Imagen 98: valores muy pequeños de los momentos en el eje Y

- **MZ**

En esta dirección, el programa calcula que no hay ningún momento

- **Smax**

Tipo: Tensión normal Smax

Unidades: MPa

02/06/2021, 17:11:34

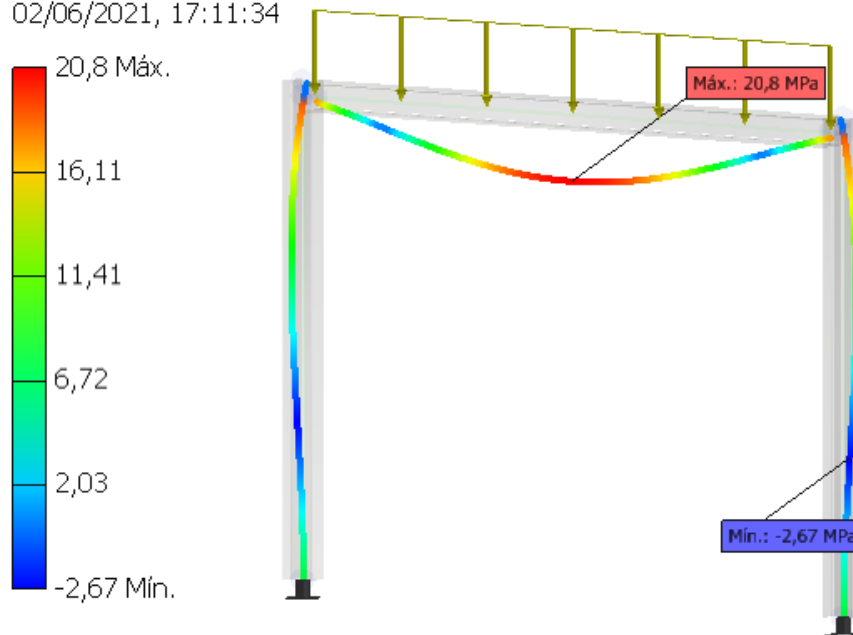


Imagen 99: tensión normal Smax en el pórtico

- **Smin**

Tipo: Tensión normal Smin

Unidades: MPa

02/06/2021, 17:11:34

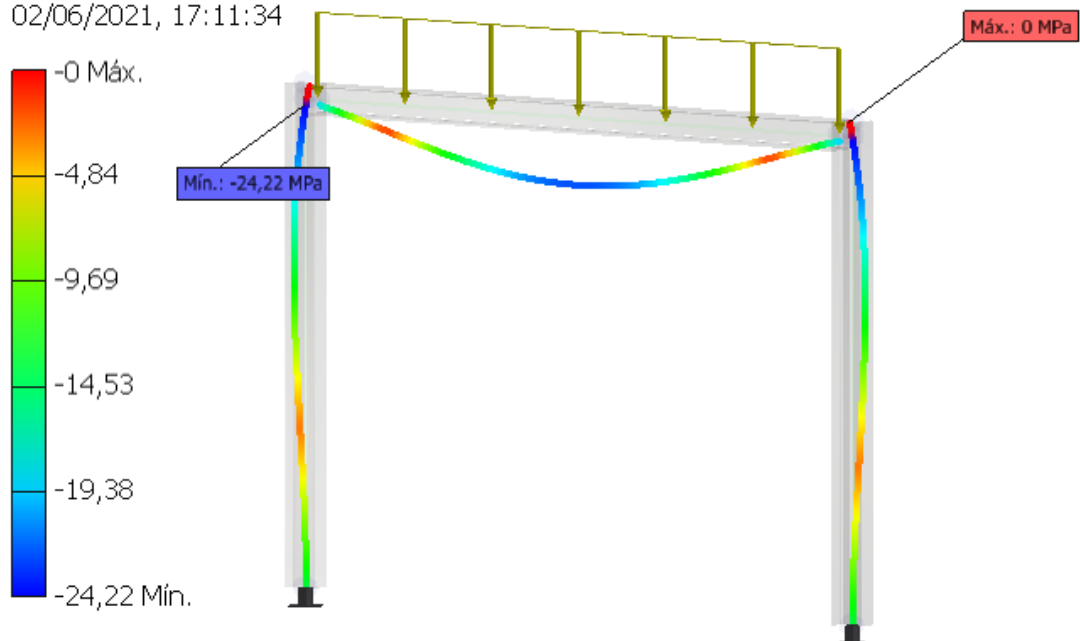


Imagen 100: tensión normal Smin en el pórtico

- **Saxial**

Tipo: Tensión normal S_{min}

Unidades: MPa

02/06/2021, 17:11:34

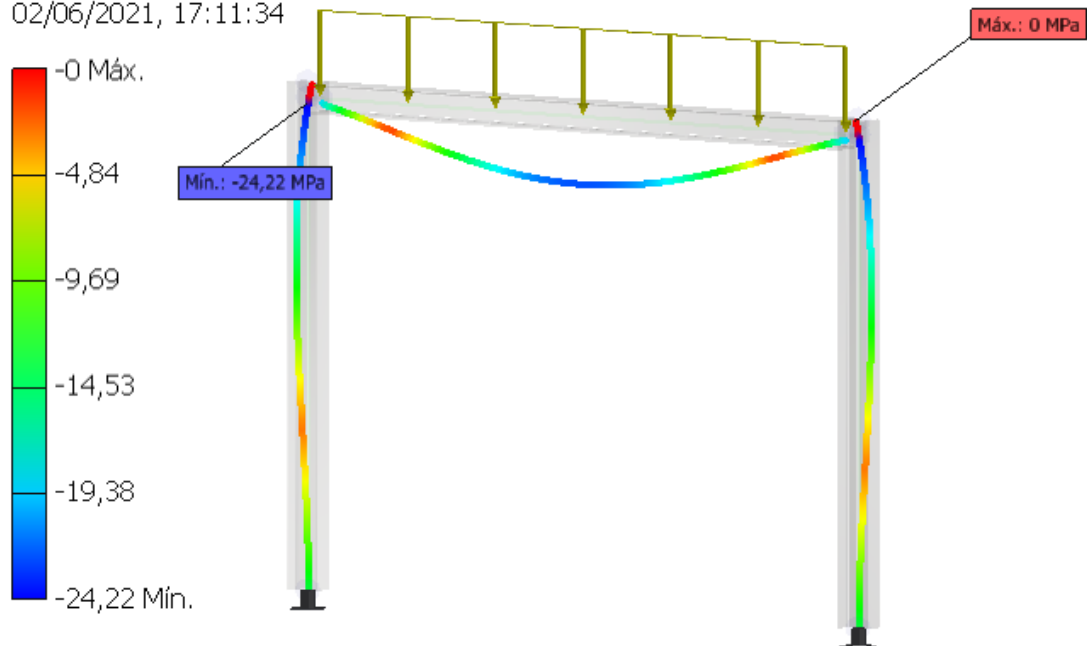


Imagen 101: valores para el esfuerzo axial en el pórtico

- **Tx**

La simulación demuestra que no existen tensiones de corte en el eje X

- **Ty**

Tipo: Tensión de corte T_y

Unidades: MPa

02/06/2021, 17:11:35

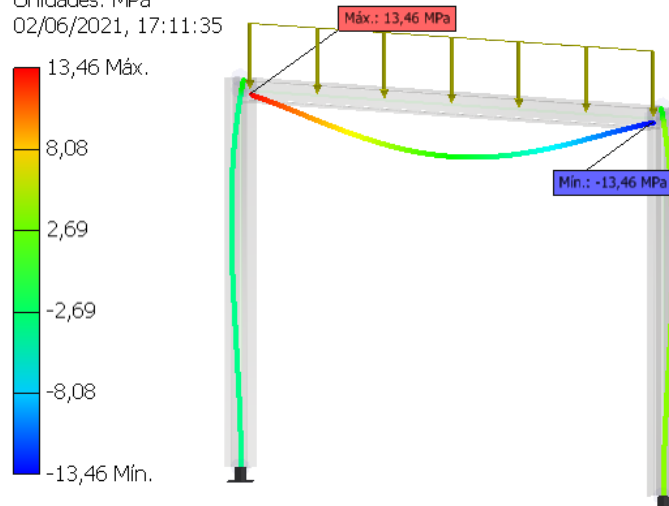


Imagen 102: tensiones de corte en dirección de Y del pórtico

- **T**

El pórtico de estudio no tiene tensiones de torsión ya que las cargas van todas en dirección vertical.

12.4. Soporte Corto W

El soporte corto W se ha diseñado en un perfil HEB-160. En este caso se va a simular en Estado Limite de Servicio (con las cargas sin mayorar), como se puede encontrar en el apartado "1.2.5.2.1. Hipótesis 1" y en la siguiente imagen (103) explicativa. El fin de este análisis es verificar que las deformaciones no son excesivas.

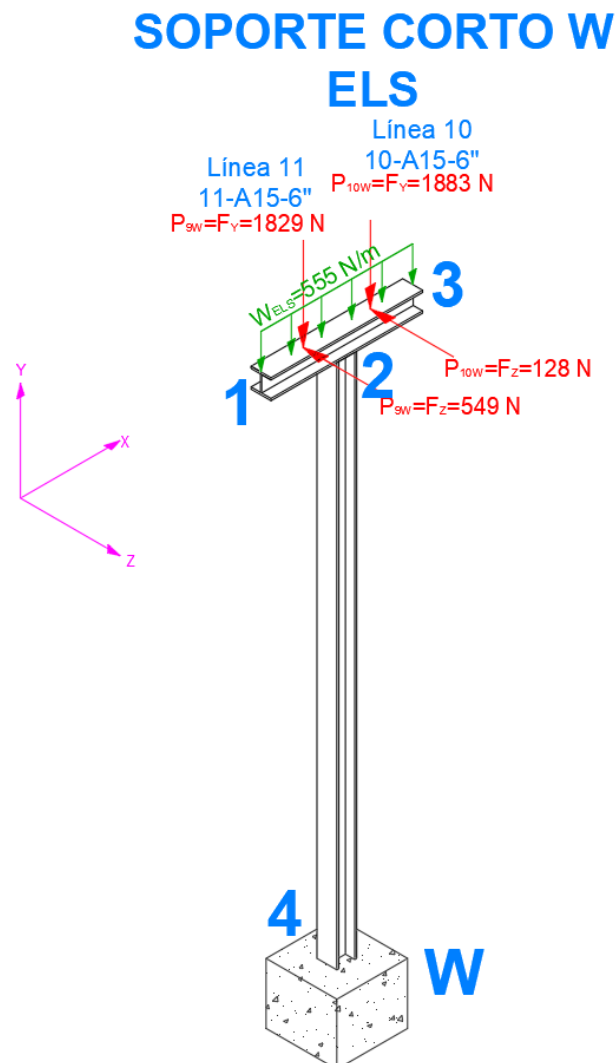


Imagen 103: hipótesis de cálculo soporte corto W en ELS

- **Propiedades físicas**

Masa	155,444 kg
Área	33733,050 mm ²
Volumen	19801,767 mm ³
Centro de gravedad	x=0,000 mm y=1762,161 mm z=0,000 mm

Tabla 119: propiedades físicas del soporte Corto W

- Material de fabricación

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,300 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 160 B 1622027066673.ipt DIN HE 160 B 1622027076017.ipt	

Tabla 120: propiedades del material de fabricación del soporte Corto W

- Propiedades de los perfiles

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	5425,142 mm ²
	Anchura de sección	160,000 mm
	Altura de sección	160,000 mm
	Centroide de sección (x)	80,000 mm
	Centroide de sección (y)	80,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	24920010,248 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	8892347,355 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	312205,035 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	311500,128 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	111154,342 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _t)	15659,266 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	2961,751 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	1126,438 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN HE 160 B 1622027066673.ipt DIN HE 160 B 1622027076017.ipt	

Tabla 121: propiedades geométricas y mecánicas del soporte Corto W

- Cargas

- P9y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1829,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F _x	0,000 N
F _y	-1829,000 N
F _z	0,000 N
Desfase	212,500 mm

Tabla 122: valores carga P9y

- P10y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1883,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
F _x	0,000 N
F _y	-1883,000 N
F _z	0,000 N
Desfase	549,500 mm

Tabla 123: valores carga P10y

- P9z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	549,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-549,000 N
Desfase	212,500 mm

Tabla 124: valores carga P9z

- P10z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	128,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-128,000 N
Desfase	549,500 mm

Tabla 125: valores carga P10z

- W_{CDELS}

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	0,555 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	0,000 N/mm
Qy	-0,555 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	762,000 mm
Magnitud final	0,555 N/mm

Tabla 126: valores carga repartida Wñ-ELS

12.4.1. Resultados del soporte Corto W

- Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:1	4189,965 N	0,000 N	2010608,421 N mm	2009336,000 N mm
		4134,910 N		70938,500 N mm
		677,000 N		9099,000 N mm

Tabla 127: resultados de cálculo en el empotramiento del soporte corto W

- Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	4,224 mm
Fuerzas	Fx	-128,000 N	549,000 N
	Fy	-2040,455 N	2085,997 N
	Fz	-0,000 N	4134,910 N
Momentos	Mx	-2009336,000 N mm	0,000 N mm
	My	-92506,500 N mm	9099,000 N mm
	Mz	-0,000 N mm	70938,500 N mm
Tensiones normales	Smax	-0,506 MPa	5,770 MPa
	Smin	-7,295 MPa	-0,000 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	6,451 MPa
	Smin(Mx)	-6,451 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	0,832 MPa
	Smin(My)	-0,832 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-0,762 MPa	0,000 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,185 MPa	0,043 MPa
	Ty	-1,852 MPa	1,811 MPa
Tensiones de torsión	T	-4,530 MPa	0,000 MPa

Tabla 128: resultados estáticos del soporte corto W en ELS

12.4.2. Representación gráfica de los resultados del soporte Corto W

- Deformación

Un poco superior a los 3,25mm calculados de forma analítica, pero aun así, dentro de la norma.

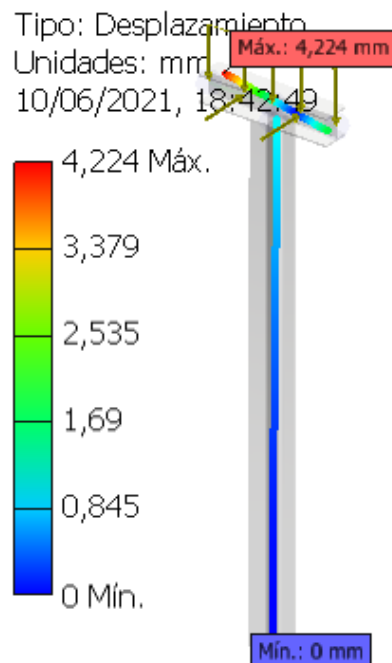


Imagen 104: representación del desplazamiento máximo del soporte corto W

- **F_x**

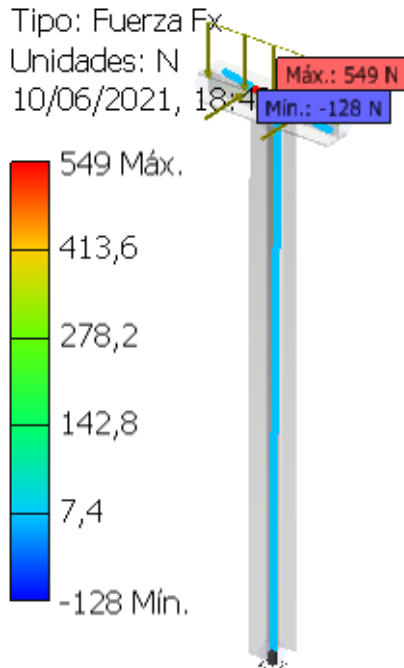


Imagen 105: representación de los valores de la fuerza en dirección X del soporte corto W

- **F_y**

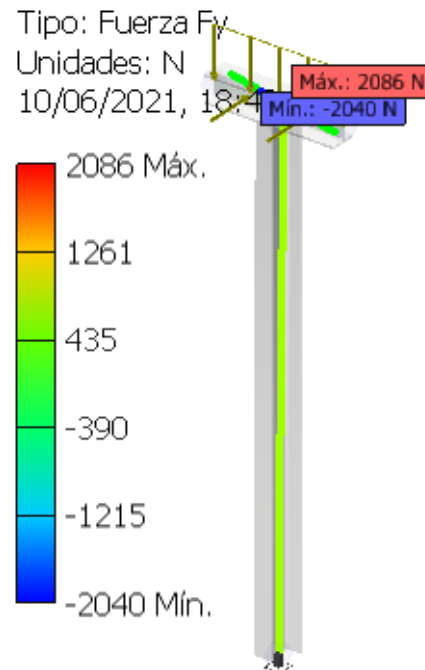


Imagen 106: representación de los valores de la fuerza en dirección Y del soporte corto W

- **F_z**

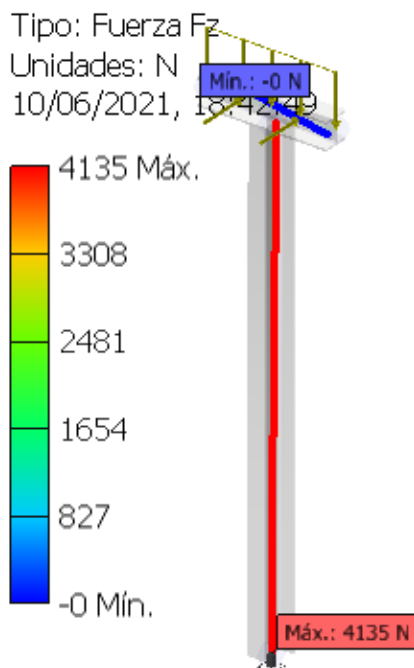


Imagen 107: representación de los valores de la fuerza en dirección Z del soporte corto W

- **M_x**

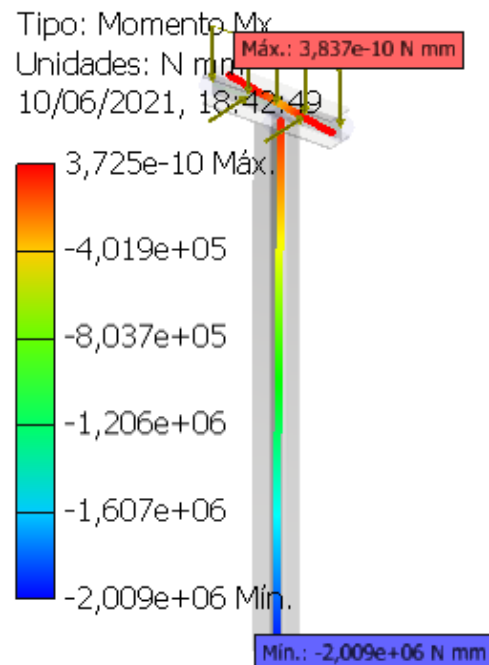


Imagen 108: representación de los valores de momentos respecto al eje X del soporte corto W

- **My**

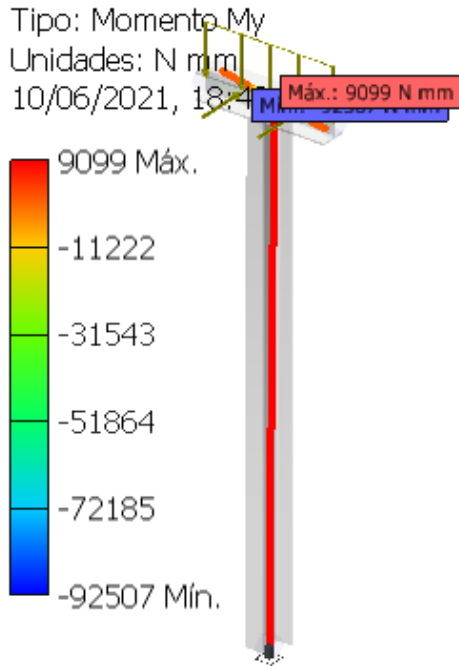


imagen 109: representación de los valores de momentos respecto al eje Y del soporte corto W

- **Mz**

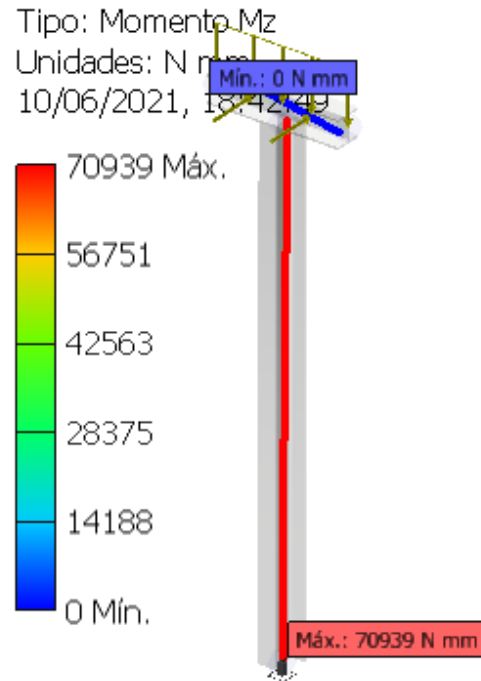


Imagen 110: representación de los valores de momentos respecto al eje Z del soporte corto W

- **S_{Máx} (Mx)**

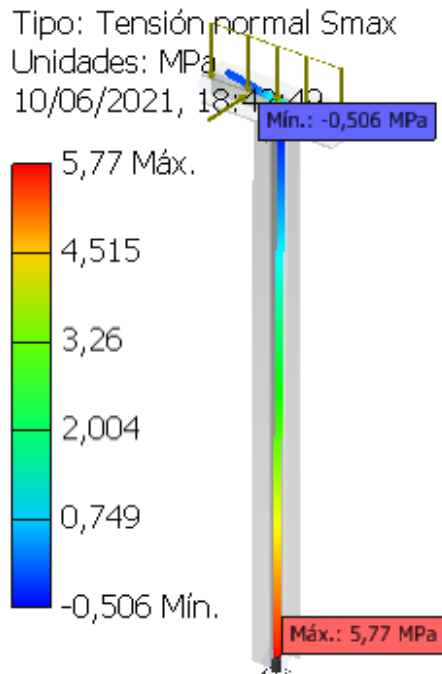


Imagen 111. representación de los valores de tensión normal máxima para el soporte corto W

- **S_{Mín}**

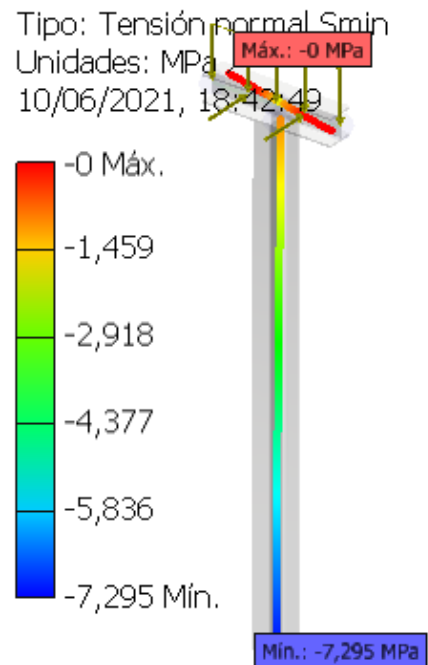


Imagen 112: representación de los valores de tensión normal mínima para el soporte corto W

- Tensión de corte Tx

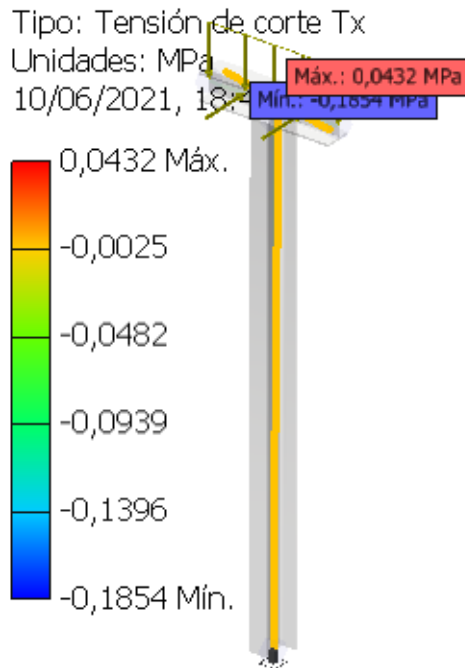


Imagen 113: representación de los valores de corte en el eje X del soporte corto W

- Tensión de corte Ty

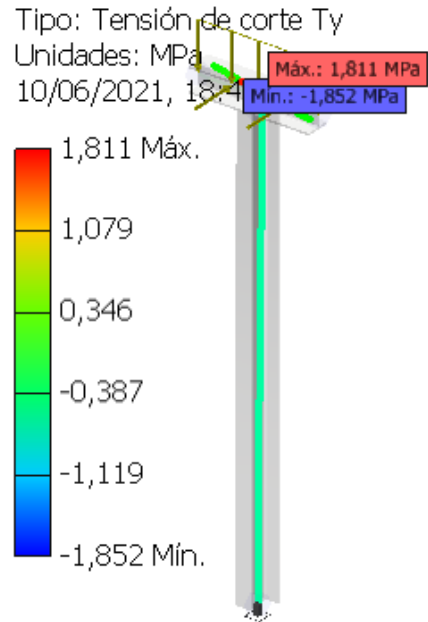


Imagen 114: representación de los valores de corte en el eje Y del soporte corto W

- Tensión torsional

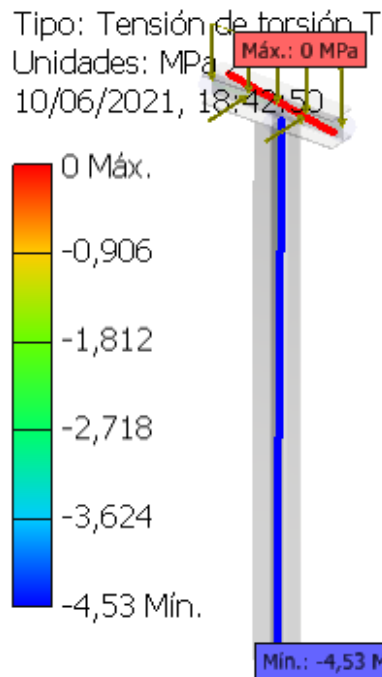


Imagen 115: representación de los valores tensionales del soporte corto W

12.5. Soporte Largo Ñ

El soporte largo Ñ se ha diseñado en un perfil HEM-240. En este caso se va a simular en Estado Limite de Servicio (con las cargas sin mayorar), como se puede encontrar en el apartado "1.2.5.2.2. Hipótesis 1" y en la siguiente imagen (116) explicativa. El fin de este análisis es verificar que las deformaciones no son excesivas

SOPORTE LARGO Ñ E.L.S.

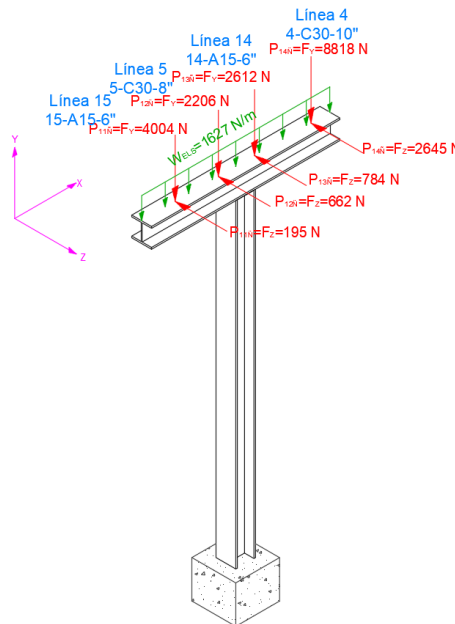


Imagen 116: hipótesis de cálculo soporte largo Ñ en ELS

- Propiedades físicas

Masa	674,014 kg
Área	63605,258 mm ²
Volumen	85861,715 mm ³
Centro de gravedad	x=0,000 mm y=1928,883 mm z=0,000 mm

Tabla 129: propiedades físicas del soporte Largo Ñ

- Material de fabricación

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,300 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 240 M 1622150452579.ipt DIN HE 240 M 1622647005848.ipt	

Tabla 130: propiedades del material de fabricación del soporte Largo Ñ

- Propiedades de los perfiles

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	19958,558 mm ²
	Anchura de sección	248,000 mm
	Altura de sección	270,000 mm
	Centroide de sección (x)	124,000 mm
	Centroide de sección (y)	135,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	242895047,216 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	81526231,522 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	6269151,802 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	1799222,572 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	657469,609 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	138102,414 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	11270,548 mm ²
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	4130,584 mm ²
Nombre(s) de pieza	DIN HE 240 M 1622150452579.ipt DIN HE 240 M 1622647005848.ipt	

Tabla 131: propiedades geométricas y mecánicas del soporte Largo Ñ

- Cargas

- P11y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	4004,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-4004,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	1252,40 mm

Tabla 132: valores carga P11y

- P12y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2206,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-2206,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	902,400 mm

Tabla 133: valores carga P12y

- P13y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2612,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-2612,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	609,600 mm

Tabla 134: valores carga P13y

- P14y

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	8818,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-8818,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	152,400 mm

Tabla 135: valores carga P14y



-P11z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	195,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-195,000 N
Desfase	1252,40 mm

Tabla 136: valores carga P11z

- P12z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	662,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-662,000 N
Desfase	902,400 mm

Tabla 137: valores carga P12z

- P13z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	784,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-784,000 N
Desfase	609,600 mm

Tabla 138: valores carga P13z

- P10z

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2645,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-2645,000 N
Desfase	152,400 mm

Tabla 139: valores carga P14z

- W_{CDELS}

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	1,627 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	0,000 N/mm
Qy	-1,627 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	1524,000 mm
Magnitud final	1,627 N/mm

Tabla 140: valores carga repartida Wñ-ELS

12.5.1. Resultados del soporte Largo Ñ

- Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:1	20570,999 N	0,000 N	13058009,500 mm	12485118,000 N mm
		20119,548 N		-1543300,800 N mm
		4286,000 N		3500237,600 N mm

Tabla 142: resultados de cálculo en el empotramiento del soporte corto W

- Resumen de resultados estáticos

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	7,228 mm
Fuerzas	Fx	-3429,000 N	857,000 N
	Fy	-12669,774 N	7400,183 N
	Fz	-0,000 N	20119,548 N
Momentos	Mx	-12485118,000 N mm	0,000 N mm
	My	0,000 N mm	3500237,600 N mm
	Mz	-1543300,800 N mm	0,000 N mm
Tensiones normales	Smax	0,000 MPa	11,255 MPa
	Smin	-13,271 MPa	-0,000 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	6,939 MPa
	Smin(Mx)	-6,939 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	5,324 MPa
	Smin(My)	-5,324 MPa	-0,000 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,076 MPa	0,304 MPa
	Ty	-1,792 MPa	3,067 MPa
Tensiones de torsión	T	0,000 MPa	11,175 MPa

Tabla 143: resultados estáticos del soporte Largo Ñ en ELS

12.5.2. Representación gráfica de los resultados del soporte Largo Ñ

- Deformación

En este caso, la deformación calculada analíticamente coincide prácticamente con la calculada de manera analítica, siendo esto muy buen indicativo.

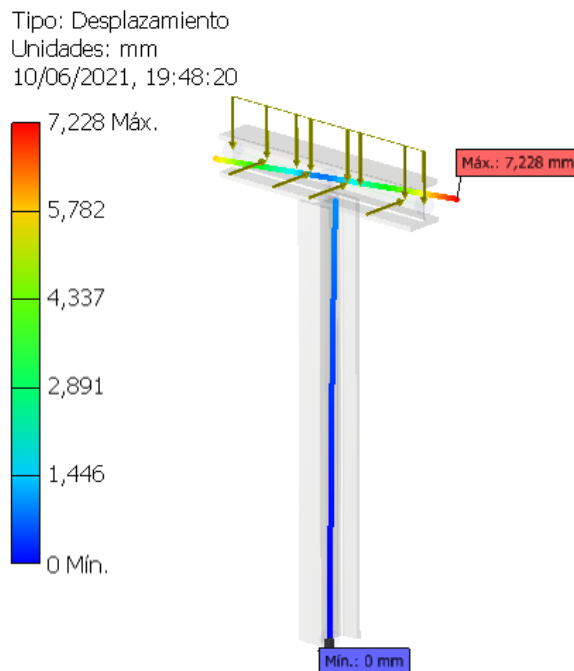


Imagen 117: representación del desplazamiento máximo del soporte Largo Ñ

• **Fx**

Tipo: Fuerza Fx
Unidades: N
10/06/2021, 19:48:21

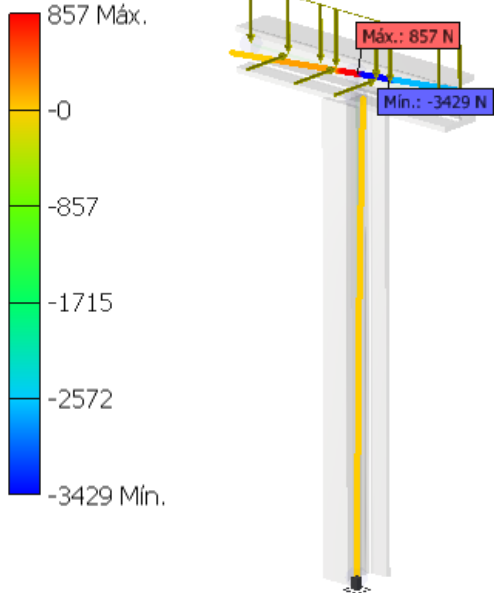


Imagen 118: representación de los valores de la fuerza en dirección X del soporte Largo Ñ

• **Fy**

Tipo: Fuerza Fy
Unidades: N
10/06/2021, 19:48:21

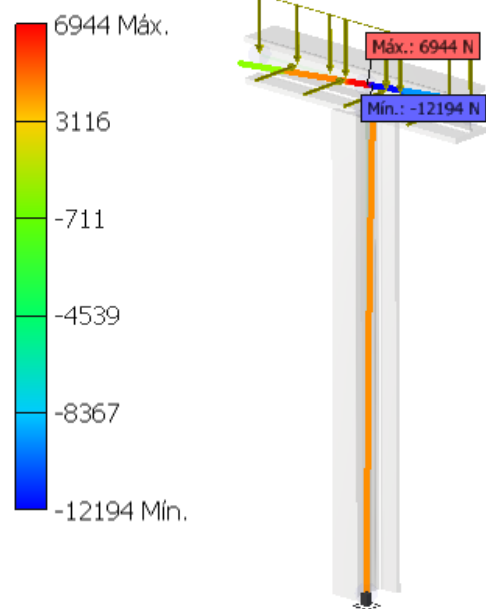


Imagen 119: representación de los valores de la fuerza en dirección Y del soporte Largo Ñ

• **Fz**

Tipo: Fuerza Fz
Unidades: N
10/06/2021, 19:48:21

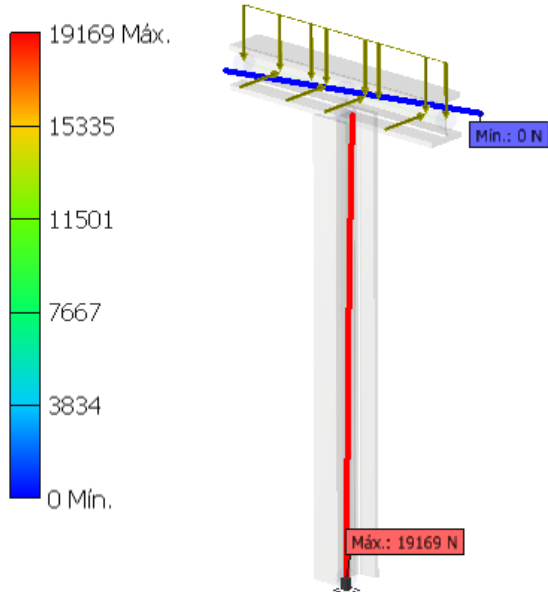


Imagen 120: representación de los valores de la fuerza en dirección Z del soporte Largo Ñ

• **Mx**

Tipo: Momento Mx
Unidades: N mm
10/06/2021, 19:48:21

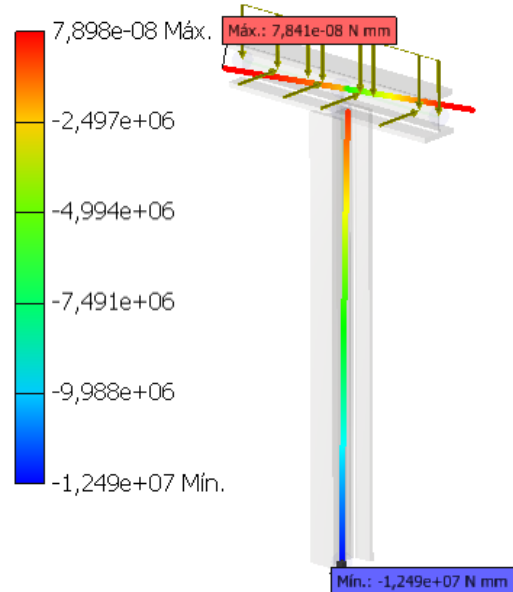


Imagen 121: representación de los valores de momentos respecto al eje X del soporte Largo Ñ

• **My**

Tipo: Momento My
Unidades: N mm
10/06/2021, 19:48:21

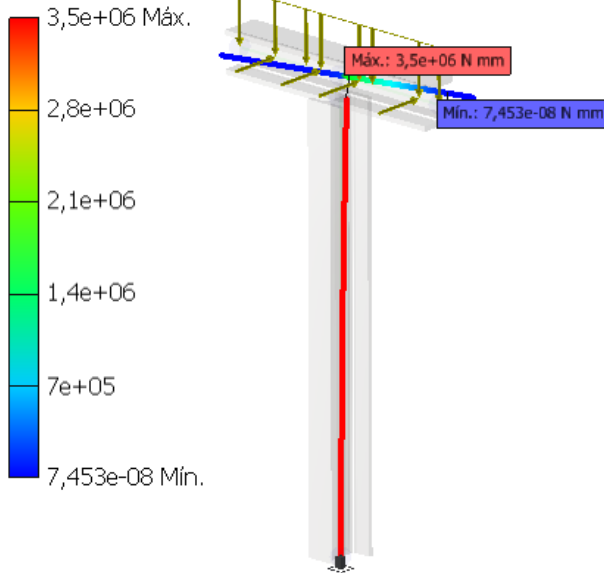


Imagen 122: representación de los valores de momentos respecto al eje Y del soporte Largo Ñ

• **Mz**

Tipo: Momento Mz
Unidades: N mm
10/06/2021, 19:48:21

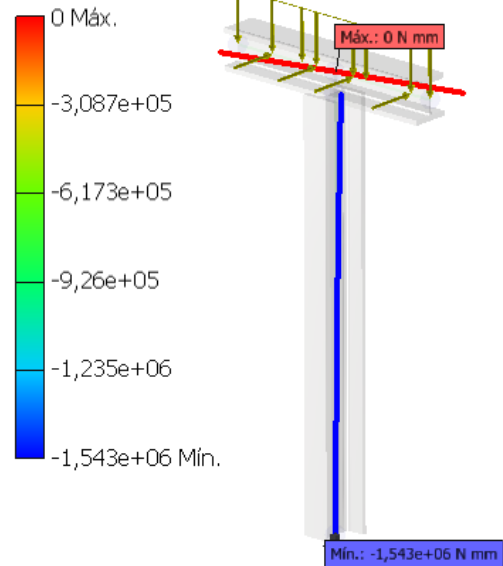


Imagen 123: representación de los valores de momentos respecto al eje Z del soporte Largo Ñ

• **S_{Máx}**

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
10/06/2021, 19:48:21

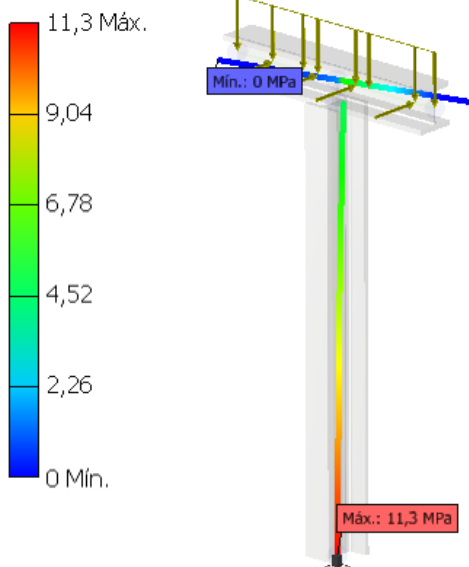


Imagen 124: representación de los valores de tensión normal máxima para el soporte Largo Ñ

• **S_{Mín}**

Tipo: Tensión normal Smin
Unidades: MPa
10/06/2021, 19:48:21

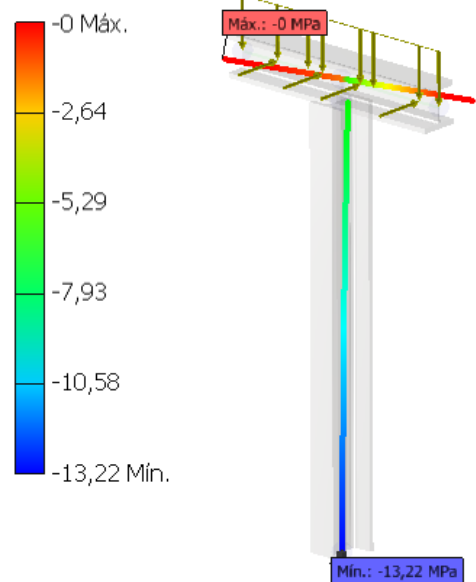


Imagen 125: representación de los valores de tensión normal mínima para el soporte Largo Ñ

- **Tensión de corte Tx**

Tipo: Tensión de corte Tx
Unidades: MPa
10/06/2021, 19:48:22

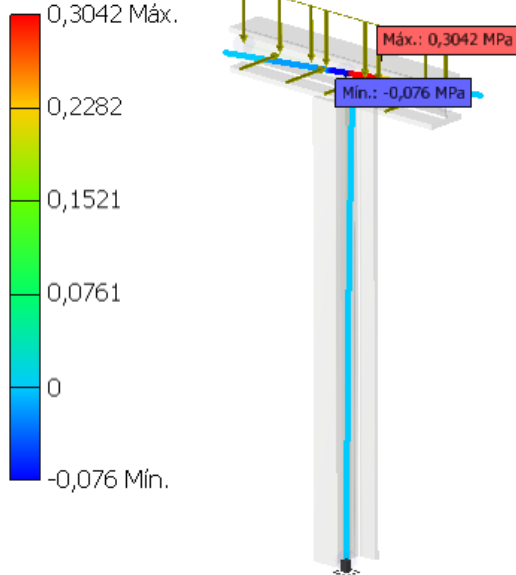


Imagen 126: representación de los valores de corte en el eje X del soporte Largo Ñ

- **Tensión de corte Ty**

Tipo: Tensión de corte Ty
Unidades: MPa
10/06/2021, 19:48:22

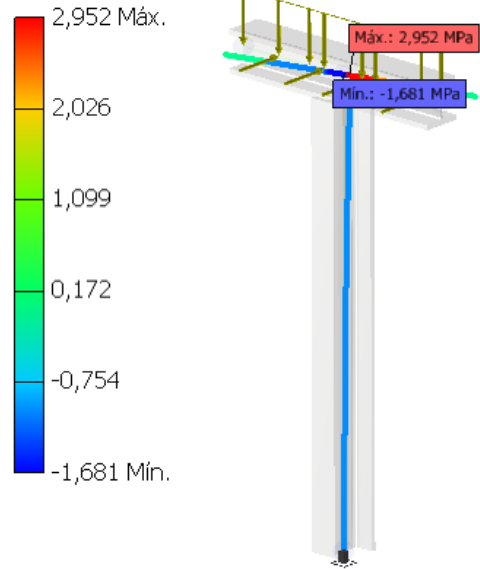


Imagen 127: representación de los valores de corte en el eje Y del soporte Largo Ñ

- **Tensión torsional**

Tipo: Tensión de torsión T
Unidades: MPa
10/06/2021, 19:48:22

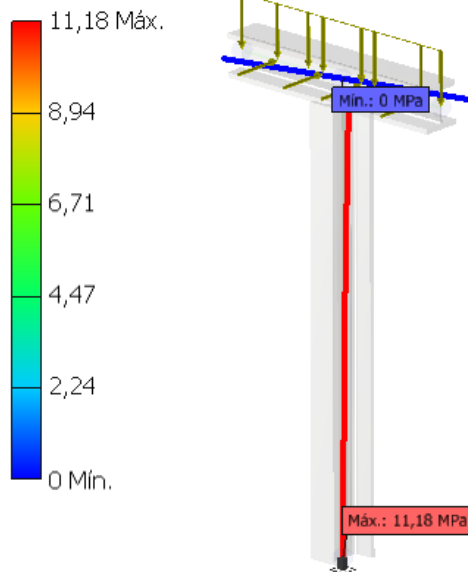


Imagen 128: representación de los valores tensionales del soporte Largo Ñ

12.6. Estructura Rack completa

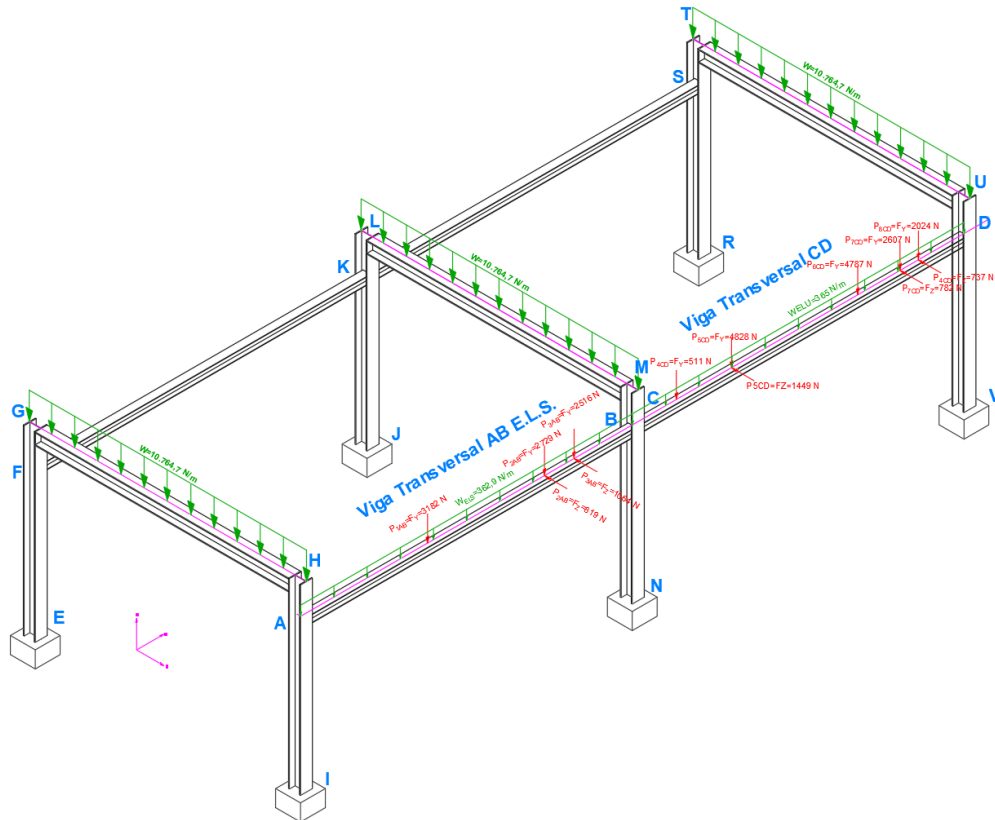


Imagen 129: hipótesis de cálculo del rack completo en ELS

- Propiedades físicas del elemento

Masa	3389,818 kg
Área	654705,820 mm ²
Volumen	431823,929 mm ³
Centro de gravedad	x=470,098 mm y=46,915 mm z=606,281 mm

Tabla 144: propiedades físicas de los pórticos

- Materiales

Nombre	Acero S-275	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	410,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	210,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,300 su
Nombre(s) de pieza	DIN HE 220 B 1623168289737.ipt DIN HE 220 B 1623168289738.ipt DIN HE 220 B 1623168289739.ipt DIN HE 220 B 1623168289740.ipt DIN HE 220 B 1623168289741.ipt DIN HE 220 B 1623168289742.ipt DIN HE 220 B 1623168318553.ipt DIN HE 220 B 1623168318552.ipt DIN HE 220 B 1623168318550.ipt DIN HE 140 B 1623171519884.ipt DIN HE 140 B 1623171519887.ipt DIN HE 140 B 1623171519886.ipt DIN HE 140 B 1623171519885.ipt	

Tabla 145: materiales de fabricación de los pórtico del Rack y sus propiedades

- **Propiedades secciones**

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	9104,124 mm ²
	Anchura de sección	220,000 mm
	Altura de sección	220,000 mm
	Centroide de sección (x)	110,000 mm
	Centroide de sección (y)	110,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	80909652,152 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	28432661,460 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	769621,834 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	735542,292 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	258478,741 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	31683,298 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	4900,209 mm ²
Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	1858,761 mm ²	
Nombre(s) de pieza	DIN HE 220 B 1623168289737.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168289738.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168289739.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168289740.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168289741.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168289742.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168318553.ipt	
	DIN HE 220 B 1623168318552.ipt	

Tabla 146: propiedades geométricas y mecánicas de los perfiles HEB-220

Propiedades de geometría	Área de sección (a)	4295,611 mm ²
	Anchura de sección	140,000 mm
	Altura de sección	140,000 mm
	Centroide de sección (x)	70,000 mm
	Centroide de sección (y)	70,000 mm
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I _x)	15092308,802 mm ⁴
	Momento de inercia (I _y)	5496663,111 mm ⁴
	Módulo de rigidez de torsión (J)	201832,892 mm ⁴
	Módulo de sección (W _x)	215604,411 mm ³
	Módulo de sección (W _y)	78523,759 mm ³
	Módulo de sección de torsión (W _z)	11295,031 mm ³
	Área de esfuerzo cortante reducida (A _x)	2355,290 mm ²
Área de esfuerzo cortante reducida (A _y)	860,920 mm ²	
Nombre(s) de pieza	DIN HE 140 B 1623171519884.ipt	
	DIN HE 140 B 1623171519887.ipt	
	DIN HE 140 B 1623171519886.ipt	
	DIN HE 140 B 1623171519885.ipt	

Tabla 147: propiedades geométricas y mecánicas de los perfiles HEB-140

- **Cargas**

Las cargas son las mismas que se han desarrollado a lo largo del documento, por lo que únicamente se hará referencia a la tabla.

- WAB els → Tabla 96
- WCD els → Tabla 110
- Wportico els → Tabla 116
- P1y → Tabla 91
- P2y → Tabla 92
- P3y → Tabla 93
- P4y → Tabla 102
- P5y → Tabla 103



- P6y → Tabla 104
- P7y → Tabla 105
- P8y → Tabla 106
- P2z → Tabla 94
- P3z → Tabla 95
- P5z → Tabla 107
- P7z → Tabla 108
- P8z → Tabla 109

12.6.1. Resultados estructura Rack completa

- Fuerzas y pares de reacciones en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
Restricción fija:4	24782,092 N	-3,661 N	7829556,370 N mm	7829552,371 N mm
		23891,761 N		-1431,105 N mm
		6582,998 N		7782,418 N mm
Restricción fija:1	28974,331 N	2487,857 N	8136751,604 N mm	-7566554,860 N mm
		28132,630 N		-7787,293 N mm
		-6471,290 N		-2992309,071 N mm
Restricción fija:3	26983,986 N	-7,230 N	10800793,966 N mm	10800787,879 N mm
		25737,695 N		-305,346 N mm
		8105,957 N		11462,609 N mm
Restricción fija:2	39056,642 N	1322,557 N	4789251,077 N mm	-4414014,471 N mm
		38739,210 N		-8819,319 N mm
		-4790,166 N		-1858312,230 N mm
Restricción fija:5	26377,115 N	-2,053 N	9191949,055 N mm	9191946,509 N mm
		25333,641 N		1627,513 N mm
		7345,667 N		6645,716 N mm
Restricción fija:6	34909,538 N	-3797,470 N	7202839,586 N mm	-6458149,736 N mm
		34193,318 N		43526,772 N mm
		-5922,165 N		3189248,423 N mm

Tabla 148: valores en los empotramientos de los pilares

- Resumen de resultados estáticos

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0,000 mm	5,527 mm
Fuerzas	Fx	-2487,857 N
	Fy	-25332,443 N
	Fz	-35,417 N
Momentos	Mx	-17669293,650 N mm
	My	-7923666,698 N mm
	Mz	-196356,136 N mm
Tensiones normales	Smax	-2,769 MPa
	Smin	-70,332 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa
	Smin(Mx)	-44,734 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa
	Smin(My)	-30,655 MPa
	Saxial	-4,255 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,775 MPa
	Ty	-13,847 MPa
Tensiones de torsión	T	-1,679 MPa

Tabla 149: resultados del pórtico en ELS

- **Desplazamientos**

Aunque en el estudio individual de la viga transversal CD, daba una deformación máxima de 3,7mm; al realizarse en análisis completo, las deformaciones en este punto llegan a 5,57mm, estando dentro de la flecha máxima permitida de 1/1000.

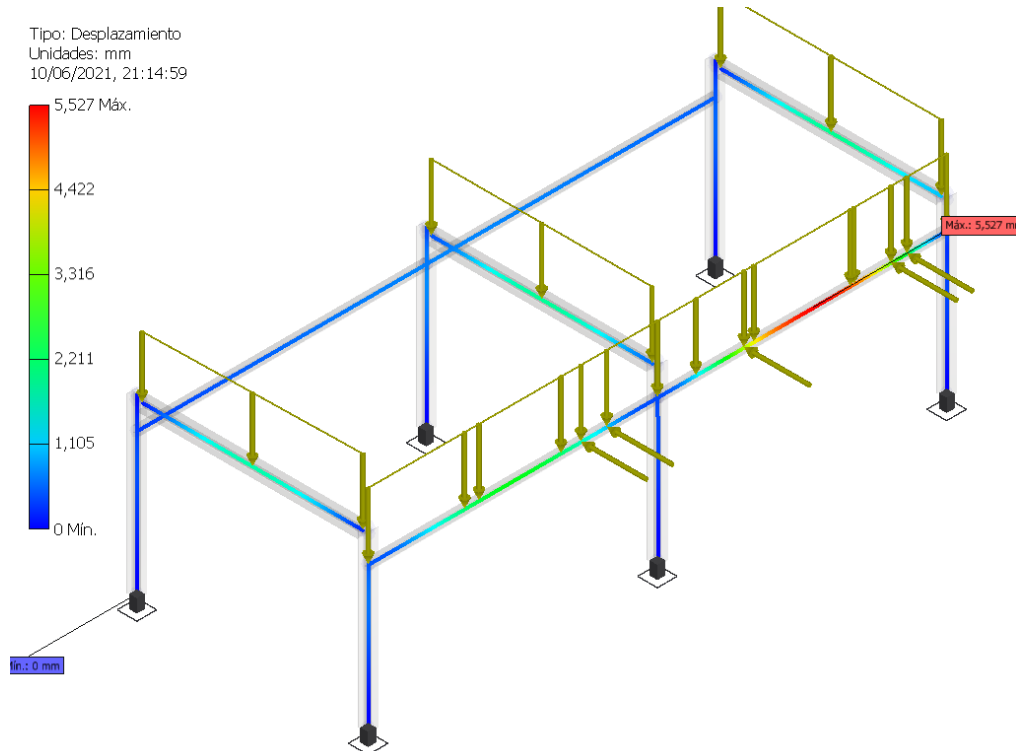


Imagen 130: desplazamientos máximos en el Rack completo

- **FX**

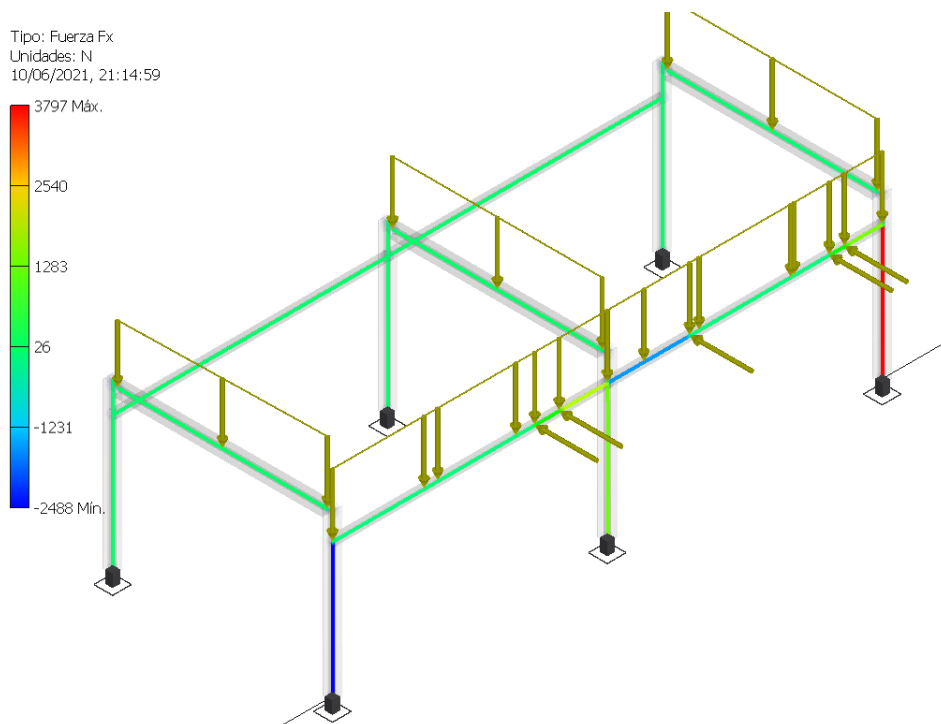


Imagen 131: valores de los esfuerzos axiales en dirección X en el Rack completo

- **FY**

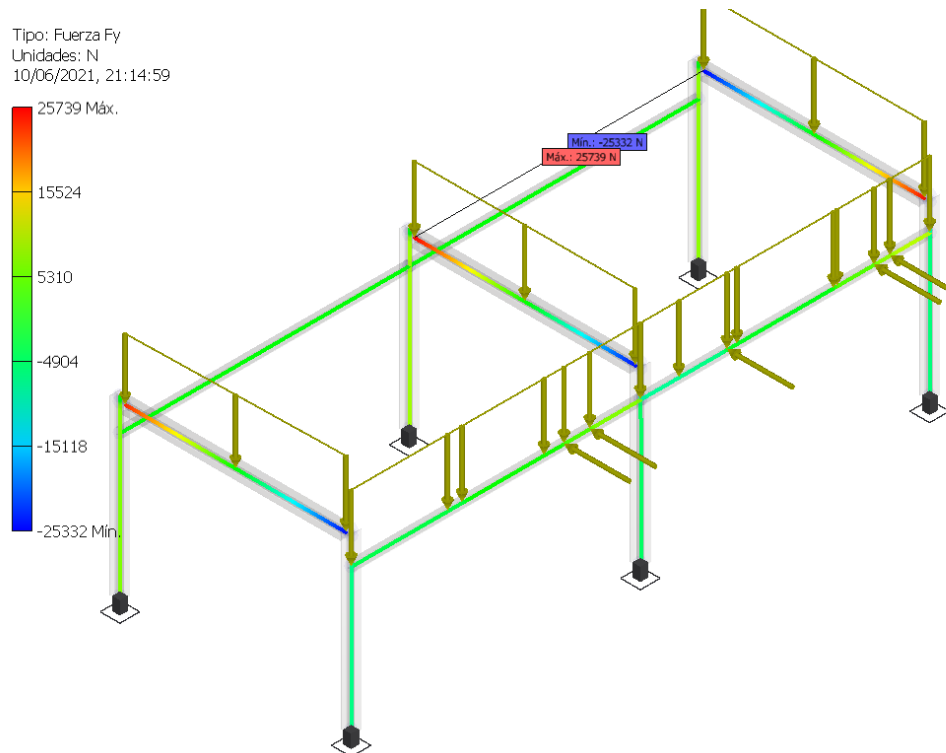


Imagen 132: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y en el Rack completo

- **FZ**

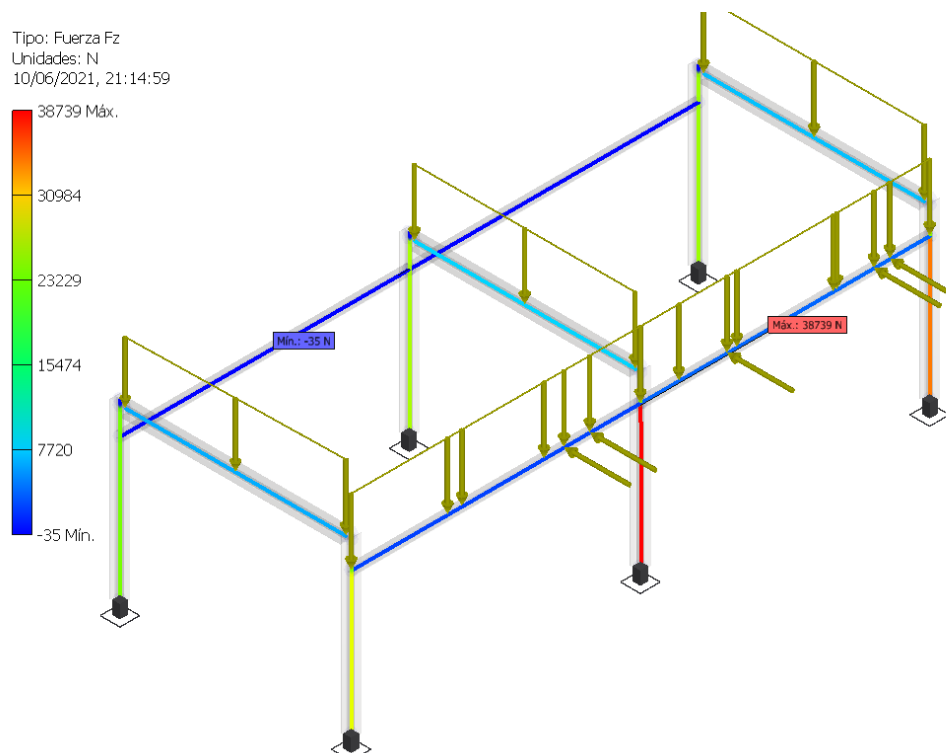


Imagen 133: valores de los esfuerzos axiales en dirección Z en el Rack completo

- **MX**

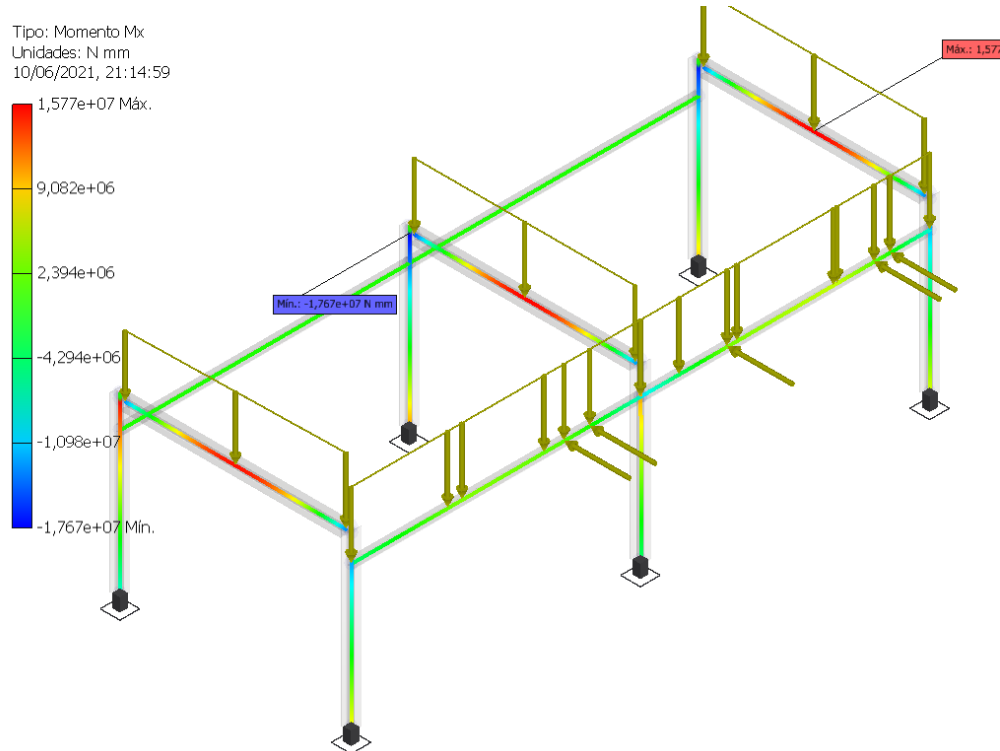


Imagen 134: valores del momento en el eje X en el Rack completo

- **MY**

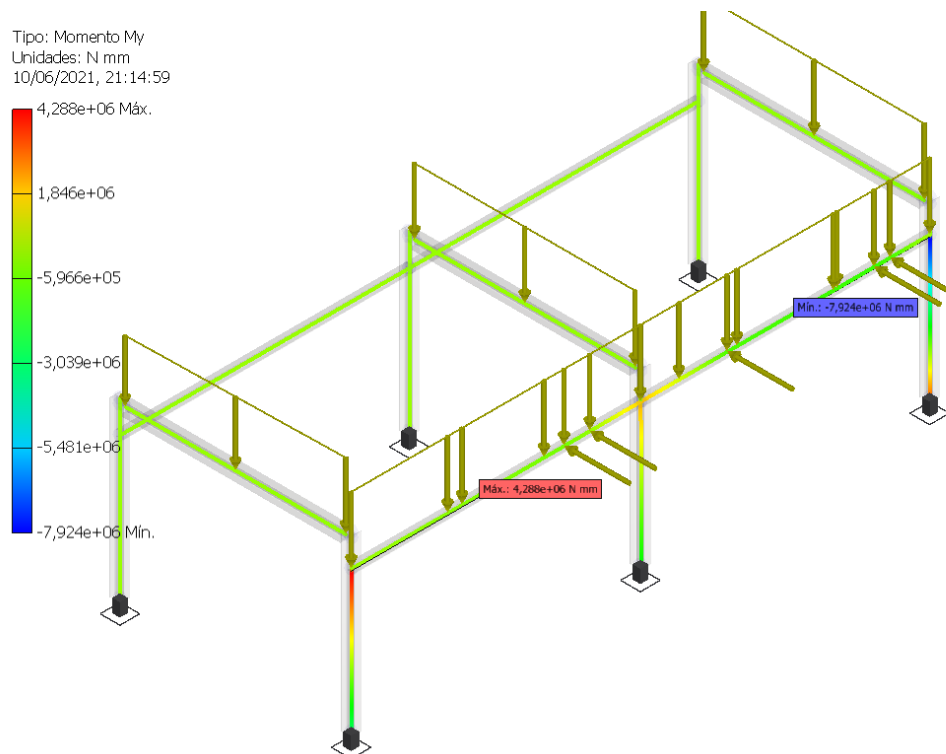


Imagen 135: valores de los momentos en el eje Y en el Rack

• MZ

Tipo: Momento Mz
Unidades: N mm
10/06/2021, 21:15:00

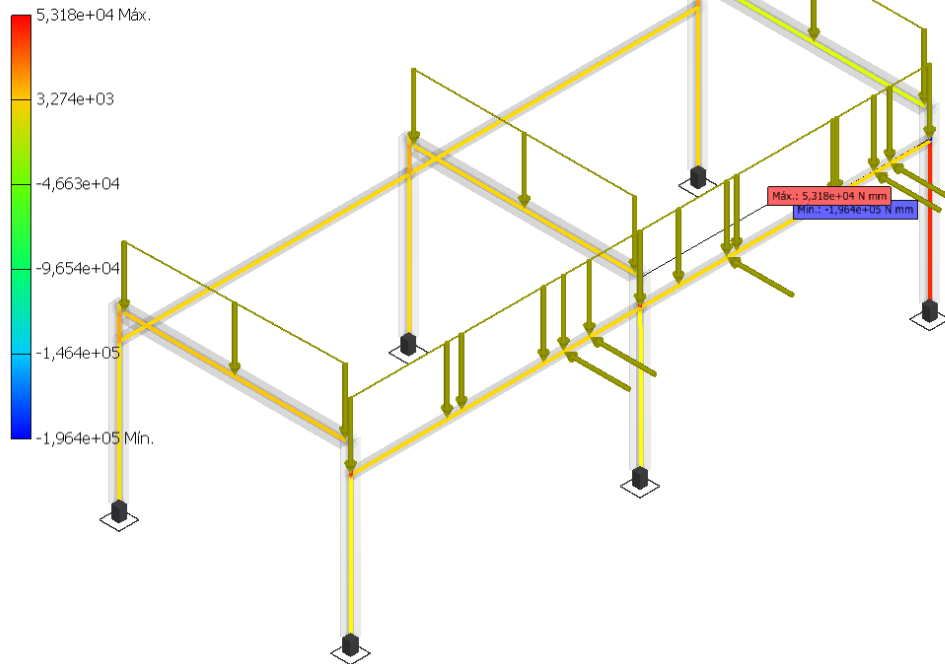


Imagen 136: valores de los momentos en el eje Z en el Rack

• Smax

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
10/06/2021, 21:15:00

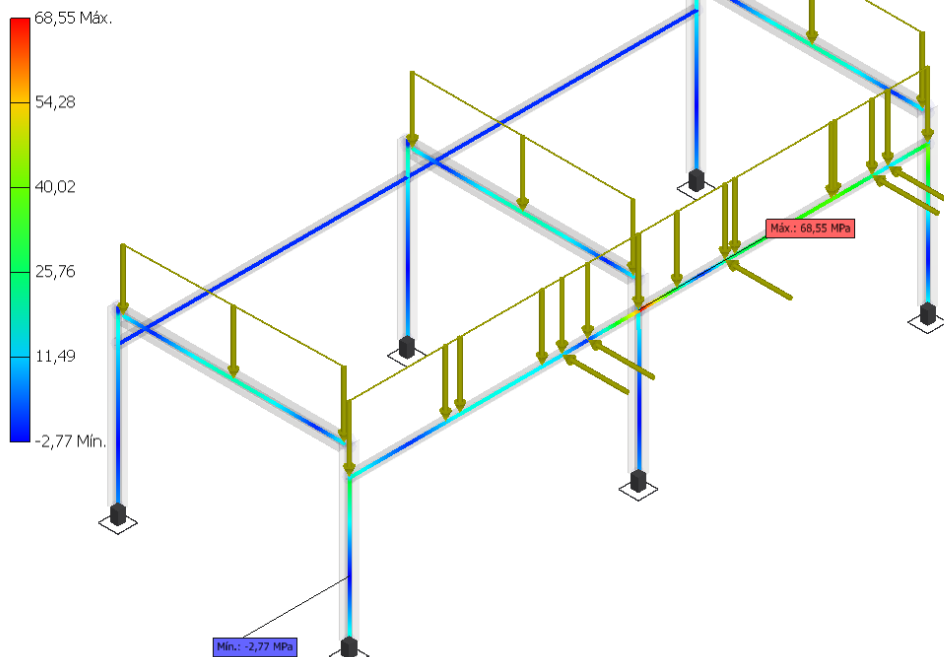


Imagen 137: tensión normal Smax del Rack

- **Smin**

Tipo: Tensión normal Smin
Unidades: MPa
10/06/2021, 21:15:00

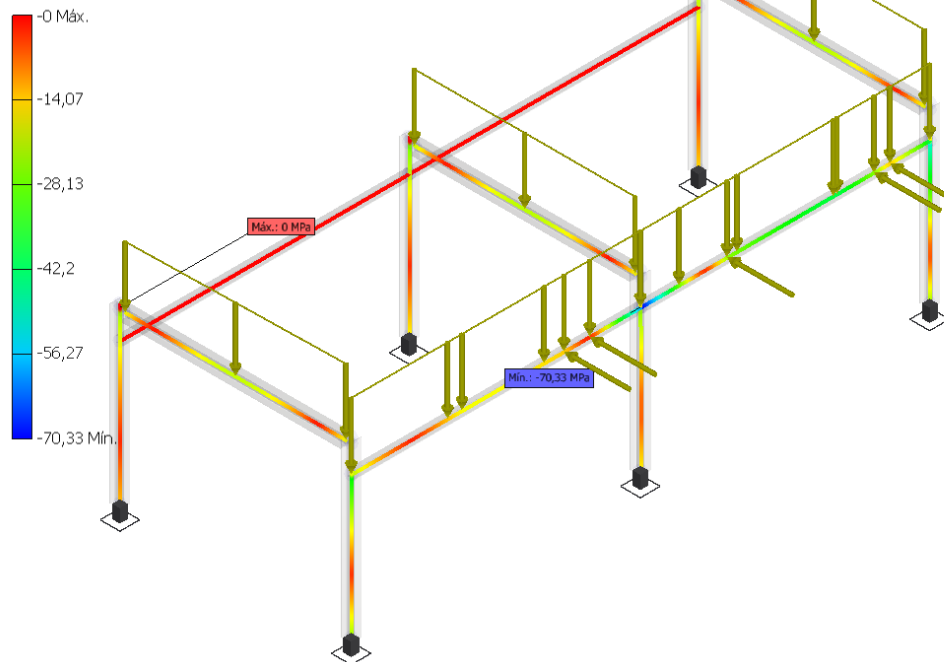


Imagen 138: tensión normal Smin del Rack

- **Tx**

Tipo: Tensión de corte Tx
Unidades: MPa
10/06/2021, 21:15:01

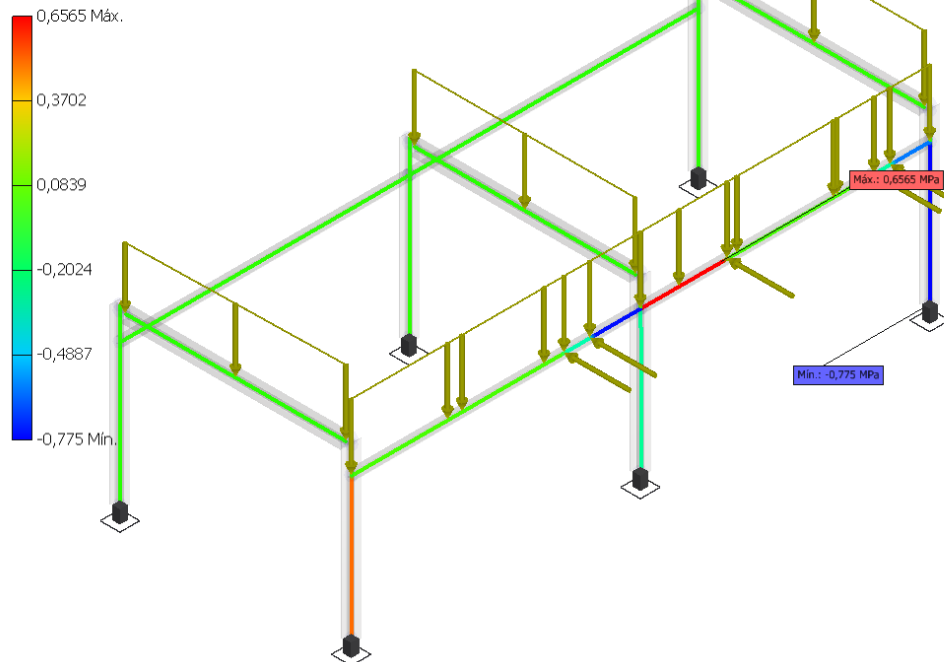


Imagen 139: tensiones de corte en dirección de Y del Rack

- Ty

Tipo: Tensión de corte Ty
Unidades: MPa
10/06/2021, 21:15:01

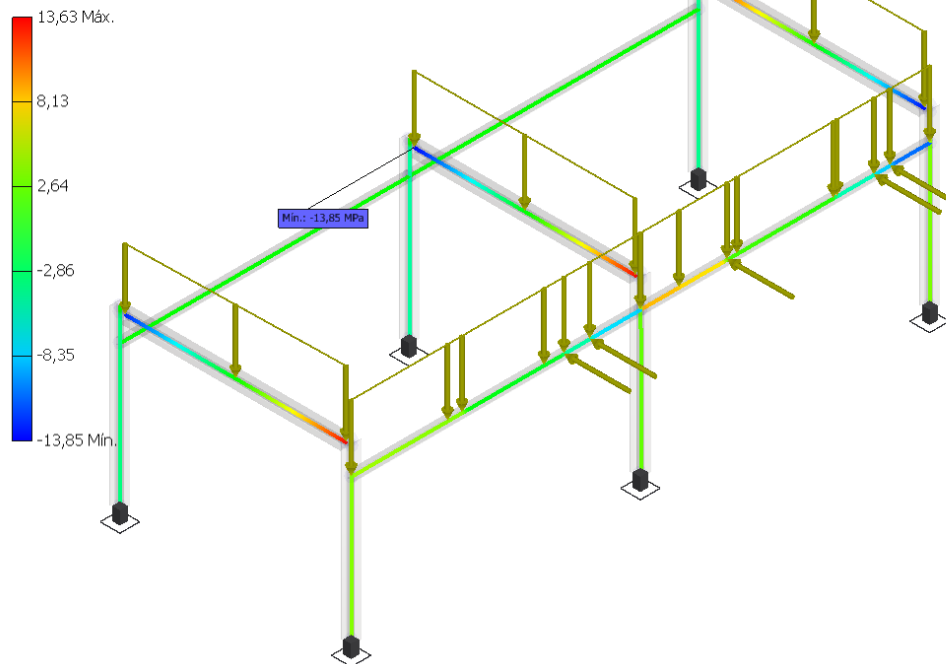


Imagen 140: tensiones de corte en dirección de Y del Rack

- T

Tipo: Tensión de torsión T
Unidades: MPa
10/06/2021, 21:15:01

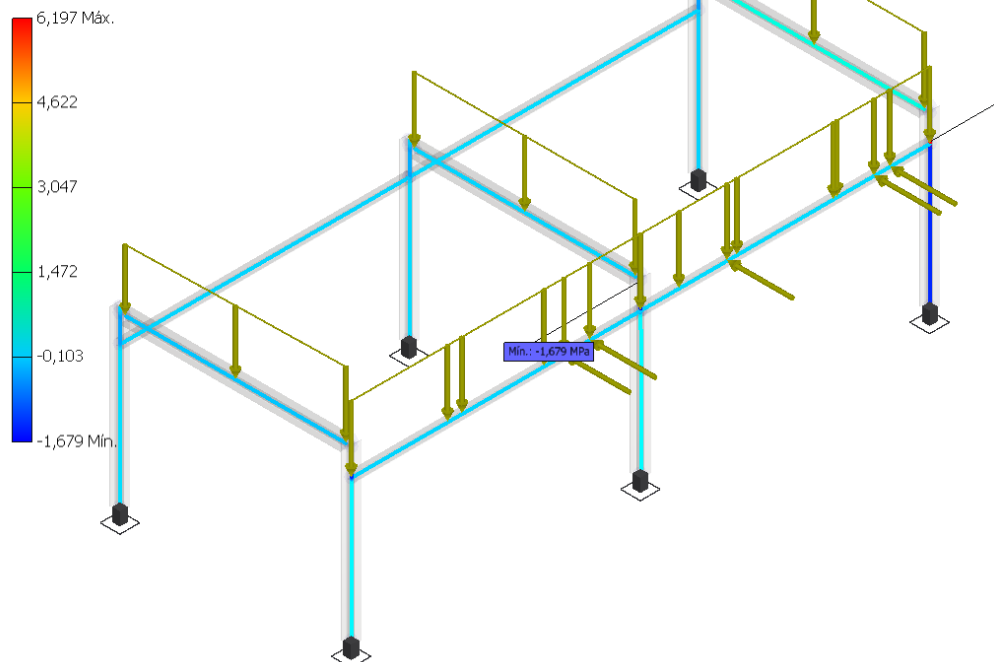


Imagen 141: tensiones torsionales del Rack



Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

6. Anejo:

Digitalización en AVEVA E3D



6. Anejo "Digitalización en AVEVA E3D (Everything 3D)"

1. AVEVA Everything 3D	3
1.1. Introducción a AVEVA Everything 3D	4
1.1. Grupos de diseño	7
1.1.1. General.....	7
1.1.2. Equipment.....	7
1.1.3. Piping.....	8
1.1.4. Structures.....	8
1.1.5. Supports.....	9
2. Modelado de cimientos y bancadas en AVEVA Everything 3D	10
3. Modelado de estructuras en AVEVA Everything 3D Desing.....	11
3.1. Piping Rack.....	11
3.2. Soporte largo Ñ.....	12
3.3. Soporte corto W	12
4. Modelado de equipos en AVEVA Everything 3D Desing	13
4.1. Acumulador de Reflujo V-102	13
4.2. Intercambiador Hervidor Reboiler E-101.....	14
4.3. Condensador de cabeza E-102	15
4.4. Bombas P101A y P101B.....	15
4.5. Torre depropanizadora V-101	16
5. Modelado de las tuberías en AVEVA Everything 3D Desing	17
5.1. Línea 1 → 1-C30-8.....	19
5.2. Línea 2 → 02-C30-10"	19
5.3. Línea 3 → 03-C30-12"	20
5.4. Línea 4 → 4-C30-10"	20
5.5. Línea 5 → 5-C30-8"	21
5.6. Línea 6 → 6-C30-10"	21
5.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"	22
5.8. Línea 9 → 9-C30-4"	23
5.9. Línea 10 → 10-A15-6".....	24
5.10. Línea 11 → 11-A15-6".....	24
5.11. Línea 12 → 12-C30-4"	25
5.12. Línea 13 → 13-A15-6"	25
5.13. Línea 14 → 14-A15-6"	26
5.14. Línea 15 → 15-A15-6".....	26
5.15. Línea 16 → 16-C30-2"	27



5.16.	Resto de líneas	27
5.17.	Briddle #1	28
5.18.	Briddle #2	28
6.	Soportes	29
6.1.	Trunnion.....	29
7.	Modificaciones del proyecto inicial	30
8.	Visualización del modelo.....	31
8.1.	Visualización del modelo en Realidad Aumentada (AR)	31
9.	Obtención de planos.....	33

1. AVEVA Everything 3D



Imagen 1: imagen del programa con colores y letras corporativas

Everything 3D Desing es un programa perteneciente a la desarrolladora de software para ingeniería e industria, AVEVA. Esta empresa es conocida por programas ampliamente utilizados en el mundo BIM como es PDMS. Es una multinacional británica de tecnología de la información con sede en Cambridge, Reino Unido, AVEVA surgió del Centro de diseño asistido por computadora financiado por el gobierno, que se estableció en 1967. AVEVA cotiza en la Bolsa de Londres y es un componente del índice FTSE 100.

AVEVA E3D Design es la solución de diseño 3D tecnológicamente más avanzada del mundo para las industrias de plantas de proceso, marina y energía. Permite una visualización potente, un diseño 3D multidisciplinario y sin conflictos, y genera rápidamente dibujos e informes precisos para reducir los costos, los plazos y los riesgos comerciales de los proyectos de capital tanto nuevos como abandonados.

AVEVA E3D Design ofrece productividad y capacidades líderes en su clase al tiempo que mantiene una compatibilidad perfecta con otras soluciones de ingeniería y diseño de AVEVA, incluida AVEVA Unified Engineering.

Una de sus mayores virtudes es la posibilidad de multitrabajo a través de la nube, que permite trabajar al unísono a diferentes profesionales, en diferentes ámbitos del proyecto cargando las nuevas modificaciones y permitiendo trabajar en ellas a tiempo real.

Este programa tiene una licencia de uso muy restrictiva (solo para grandes empresas y a muy altos precios) por lo que el aprendizaje es muy escaso y complicado. Por suerte rebuscando en internet se puede encontrar una versión del programa, que aun siendo operativa, tiene muchas restricciones. Esta es la versión donde se ha creado el modelo de la unidad depropanizadora. Esta versión no permite crear un modelo nuevo (para ello se necesitaría un server al que conectar los equipos y modelarían en la nube), tampoco permite la inserción de soportes (por lo que no se modelaran) ni la creación de planos en “Isodraft”. Al no tener los permisos de administración, tampoco se puede exportar el modelo en formato .IFC, por lo que nos tendremos que conformar con exportarlo en formato “.RVM”.

1.1. Introducción a AVEVA Everything 3D

En este apartado se van a explicar cómo iniciar en el programa, se van a citar las diferentes partes de la interfaz general y describir los diferentes tipos de modelación y las funciones tan diferentes que ofrecen.

Una vez que tenemos el programa instalado, hacemos doble clic en el icono del escritorio y elegimos es el tipo de programa que vamos a utilizar dependiendo de la industria, en nuestro caso, APS ProjAPS.



Imagen 2: elección de la industria a la que ira enfocado el modelo

Acto seguido es necesario introducir el usuario y contraseña del modelador, y elegir el modelo (MDB) en el que queremos trabajar. Estos valores los gestionara el administrador del servidor.

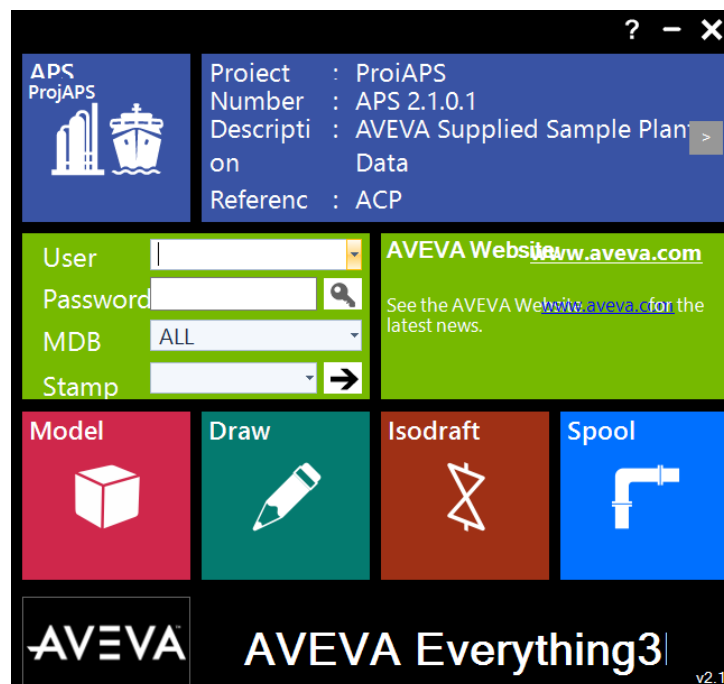


Imagen 3: ventana de iniciación del programa AVEVA E3D

Ahora que conocemos los valores para entrar, debemos elegir el módulo en el que queremos trabajar, no da la opción de modelo, (abajo a la izquierda en rojo) que será donde crearemos nuestro modelo. El siguiente modulo es de “Draw” y sirve para obtener capturas del modelo y prepararlas en formato plano. El siguiente modulo sería el de “Isodraft” que permite obtener planos en isométrico con todos los valores geométricos de tuberías y estructuras. Este apartado no esta disponible en esta versión, por lo que todos los planos obtenidos serán a través del módulo “Draw” y la ayuda de AutoCAD para remendar esta limitación.

El ultimo modulo es “Spool” que permite preparar todos los elementos modelados para el transporte, partiendo el modelo en segmentos capaces de entrar en un camión o contenedor.

También indica como realizar luego el montaje de todos los elementos. Este módulo no se ha utilizado en el proyecto ya que normalmente se hace un estudio completo para el transporte.

Nosotros entraremos en el módulo “Model” para conocer la interfaz y comenzar a modelar.

Una vez cargado el modelo, la pantalla por defecto se muestra una vista 3D en blanco.

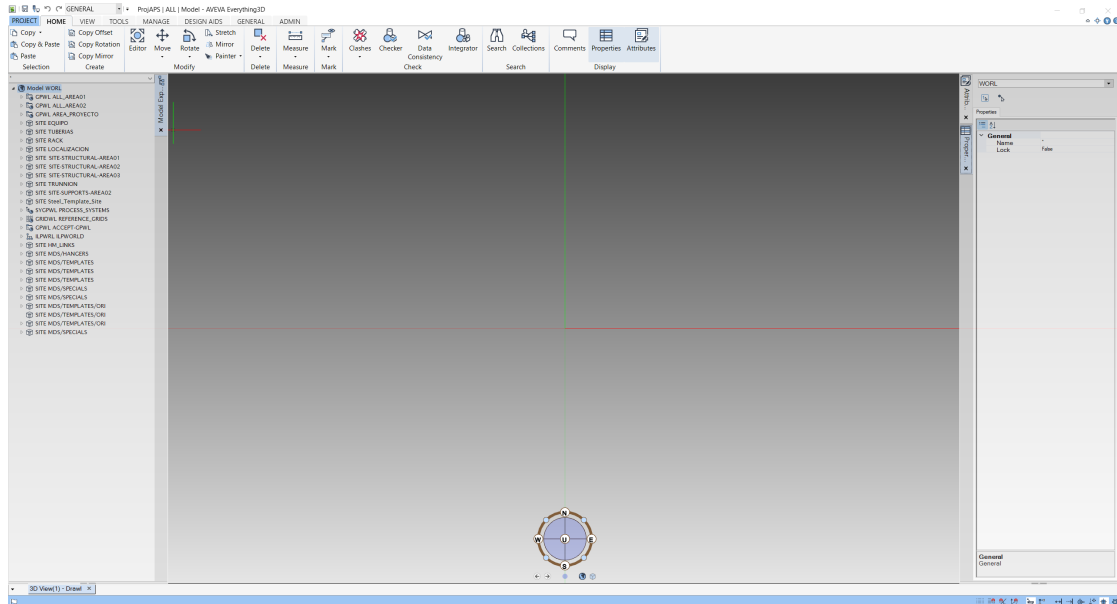


Imagen 4. Interfaz principal del programa E3D

Para poder visualizar el modelo será necesario arrastrarlo desde la columna izquierda, dentro de “Word” a la zona de modelado o visualización. En esta columna se separan normalmente elementos relacionados entre si, ayudando a esquematizar el proyecto de la mejor forma y facilitarnos el trabajo en BIM. En esta columna aparecen listas de elementos predeterminados que no se pueden borrar y que podremos utilizar si es necesario.

El punto más interesante de esta interfaz se encuentra arriba a la izquierda, representado en las imágenes 4 y 5 por “GENERAL” y en este punto encontramos las opciones generales, también conocidos como grupos. Gracias a estos grupos podremos crear y modificar elementos tales como equipos, tuberías, cables, estructuras, soportes, etc. Por lo que dependiendo de lo que se quiera modelar, habrá que entrar en un grupo o en otro.

Todos estos grupos están organizados por disciplinas y enfocados a diferentes profesionales necesarios para el proyecto.

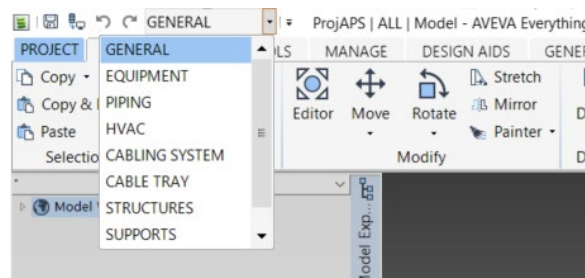


Imagen 5: opciones generales de AVEVA E3D

En el interfaz principal, habrá siempre 7 pestañas comunes en todos los grupos (Project, Home, View, Tools, Manage, Design Aids y Admin) y luego tendremos herramientas específicas dependiendo del grupo que elijamos.

- **Project:** es una venta diferente al interfaz general y aquí podremos guardar y cargar modelos en la nube y en el programa. También podremos cambiar de modulo sin salir del programa y ponernos en contacto con AVEVA.

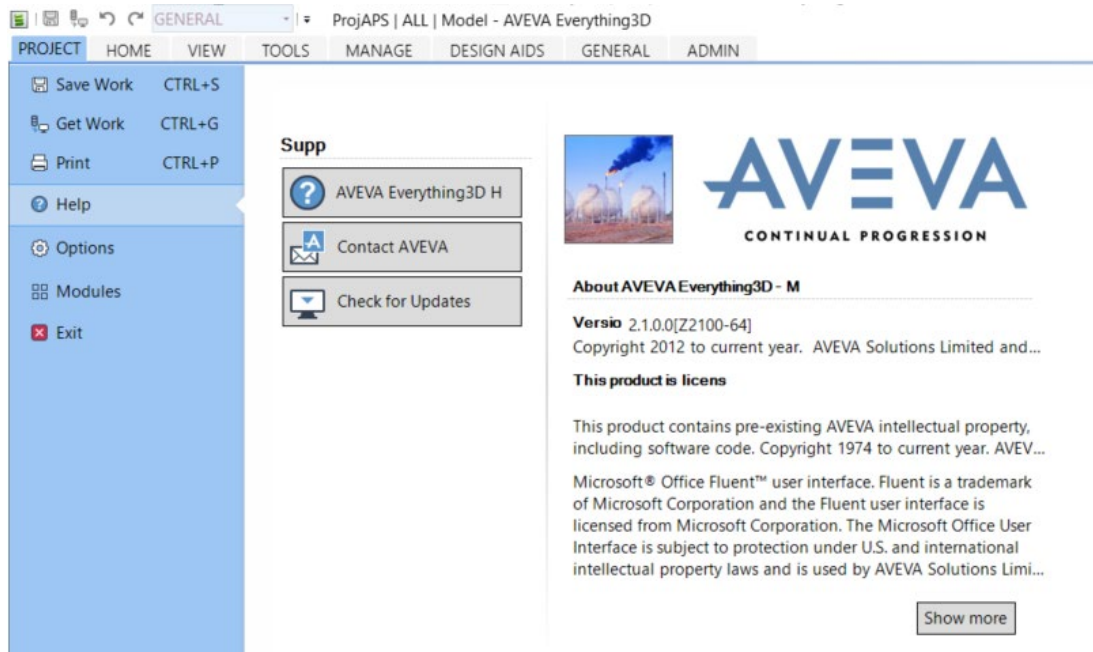


Imagen 6: venta de Project en AVEVA E3D

- **Home:** en esta venta se nos permite copiar y pegar diferentes elementos dentro del modelo. Moverlos, rotarlos, medirlos o eliminarlos. También nos ayuda a buscar elementos y atributos dentro del modelo. Aquí encontramos la función para comprobar choques en el modelo.



Imagen 7: venta de Home en AVEVA E3D

- **View:** podremos elegir los elementos que queremos que se vean o queremos ocultar y configurar diferentes vistas pudiendo añadir nubes de puntos que ayuden en el diseño del modelo.

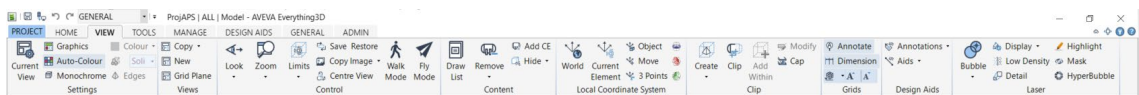


Imagen 8: venta View en AVEVA E3D

- **Tools:** en esta ventana podremos programar en comando, explorar los diferentes arboles de información, importar y exportar elementos o datos del modelo y crear reportes de estos.

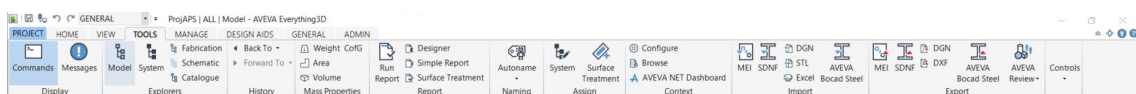


Imagen 9: venta de Tools en AVEVA E3D

- **Manage:** esta ventana sirve para administrar el proyecto individual añadiendo opciones y extrayendo información del trabajo diario.



Imagen 10: venta de Mamage en AVEVA E3D

- **Design Aids:** en esta ventana podremos crear estructuras de alambre auxiliares llamadas “Grid” en las posiciones y con las formas que queramos, pudiendo separar el proyecto en diferentes partes para luego facilitar el modelado.



Imagen 11: venta Desing Aids en AVEVA E3D

- **Admin:** desde esta ventana se puede administrar el proyecto completo, normalmente solo tiene acceso el responsable del proyecto.

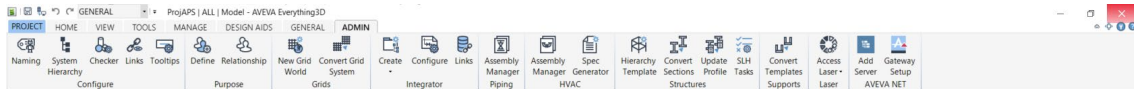


Imagen 12: venta de Admin en AVEVA E3D

1.1. Grupos de diseño

Ahora se van a comentar los diferentes grupos dentro del programa con sus herramientas específicas, después se realizará un ejemplo de modelado de un equipo, una tubería y un soporte estructural, y por ultimo se mostrarán todos los elementos pertenecientes a cada grupo.

Los grupos que se van a desarrollar son: General, Equipment, Piping, Structures y Supports.

1.1.1. General

En este grupo vamos a poder crear las zonas y subzonas de construcción. Para poder crear cualquier elemento, hay que crearlo dentro de una “Zone”. Y las zonas se crean dentro de los “Site”. En este modo, podremos crear elementos estándar dentro de una zona con las formas primitivas que nos ofrecen.

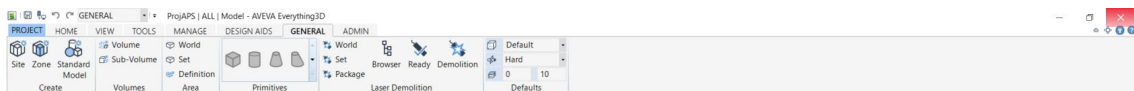


Imagen 13: modo General para modelar en AVEVA E3D

Este modo estará presente en el resto de los grupos para poder crear siempre fácilmente “Sites” y “Zone” donde luego modelar cada elemento.

1.1.2. Equipment

Gracias a este grupo vamos a poder crear equipos y darles los parámetros que consideremos. Para ello crearemos un “Equipment” dentro de una “Zone”, y realizaremos el modelado con formas primitivas como en AutoCAD Plant 3D. Luego podremos añadir toberas al equipo modelado en “Nozzle”. También permite la opción de modificar los equipos y datos ya introducidos.

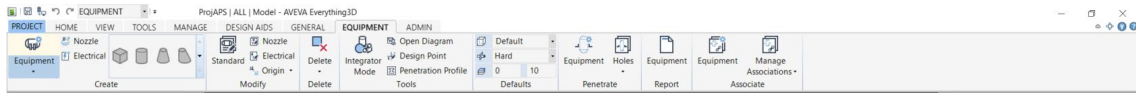


Imagen 14: modo Equipment para modelar en AVEVA E3D

1.1.3. Piping

En este grupo podremos crear tuberías con todos sus accesorios y parámetros. Para ello crearemos una "Pipe" dentro de una "Zone". Indicaremos el material y las condiciones en las que trabaja la tubería y comenzaremos a modelarla. Esto se realizara indicando el comienzo y fin de la línea (colocando los Branch inicial y final), después se incluirá uno a uno los accesorios y se colocaran a las distancias correctas, los tramos rectos de tubería se generan automáticamente uniendo los accesorios (siempre y cuando estén en línea).

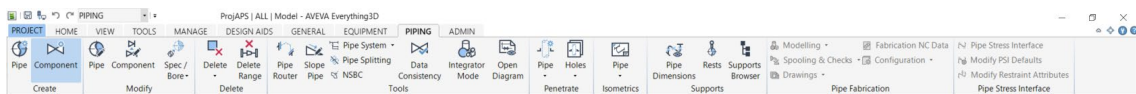


Imagen 15: modo Piping para modelar en AVEVA E3D

1.1.4. Structures

Gracias a este modo podemos crear estructuras metálicas, plataformas, escaleras, barandillas, muros y suelos.

Para poder crear una estructura, es recomendable primero añadir unos "Grid" (estructura de alambre auxiliar) en los lugares donde irán los perfiles (de forma muy parecida a inventor). Después habrá que crear una "Structure" dentro de una "Zone", dentro de la estructura crear un "Framework" y dentro de este un "Sub-Frame". De esta forma podemos organizar toda la estructura en diferentes partes.

Para crear la estructura, dentro del sub-frame elegido, crearemos "Straight" y seleccionaremos el tipo de perfil y su tamaño. El perfil lo insertaremos dentro de los "Grid" del punto al punto que consideremos. Luego podemos añadirle a la estructura orejetas de alzado, placas de anclaje y diferentes tipos de uniones entre perfiles y sub-frames.



Imagen 16: modo Structures, ventana para modelar las secciones de los perfiles en AVEVA E3D

Dentro de las estructuras también tenemos la pestaña con las opciones y herramientas para crear plataformas. Estas plataformas pueden estar en los equipos (como sucede en la torre de fraccionamiento que tiene dos plataformas) o pueden rodear al equipo para facilitar el trabajo en el. Se crean dentro de un Subframe añadiendo y eliminando formas muy simples en el mismo plano.

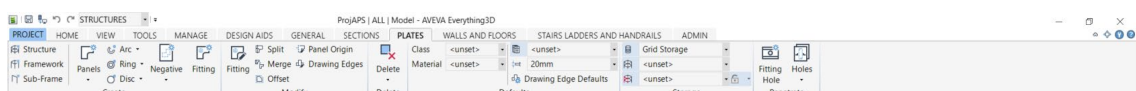


Imagen 17: modo Structures, ventana para modelar paneles y plataformas en AVEVA E3D

Otra de las opciones que tenemos en el grupo de estructuras es para la creación de muros y suelos de edificación (mampostería). Gracias a estas herramientas, podremos crear edificios dentro del modelo, normalmente estos edificios son de oficinas o almacenamiento.



Imagen 18: modo Structures, ventana para modelar paredes y suelos en AVEVA E3D

En este grupo tenemos también la opción de crear escaleras y barandillas que cumplan con los estándares de seguridad eligiendo la norma que rige su fabricación. Para poderse crear es necesario haber creado antes paneles donde conectar las escaleras y poder perimetrar con la barandilla.



Imagen 19: modo Structures, ventana para modelar escaleras y barandillas en AVEVA E3D

1.1.5. Supports

En el grupo de “Support” se pueden insertar gran cantidad de soportes ya prediseñados y con las dimensiones de catálogo, modificando únicamente la longitud entre la tubería y el punto donde apoya el soporte. Estas librerías no están completamente disponibles en nuestra versión, pudiendo acceder únicamente a los soportes más simples.

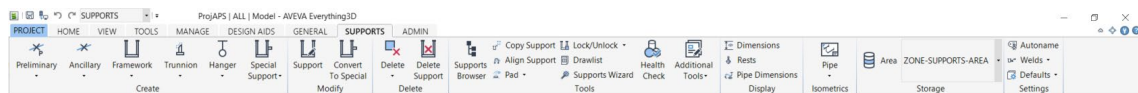


Imagen 20: modo Supports para modelar en AVEVA E3D

En la versión utilizada del programa viene un ejemplo de una planta de procesos. Ya que no tenemos los permisos de administrador, se ha decidido borrar y crear en el mismo archivo nuestro proyecto.

Para la creación del modelo, es recomendable empezar dimensionando el modelo con la ayuda de Grid, que nos dará una idea de donde se sitúan todos los elementos. Después es recomendable modelar las bancadas y los cimientos de todos los elementos participes en el modelo. De esta forma se podrán situar después fácilmente los equipos y las estructuras. El siguiente elemento que se recomienda modelar son las estructuras, por si algún equipo o línea está sustentado en una, quede apoyado. El siguiente elemento que modelamos serían los equipos para tener donde conectar las tuberías. Las tuberías se modelarían a continuación y por ultimo los soportes, cables y demás accesorios que puedan aparecer en el modelo como pueden ser los aparatos de medición de los briddles, que se modelaran lo último con el grupo de general.

2. Modelado de cimientos y bancadas en AVEVA Everything 3D

Como se ha comentado en el párrafo anterior, es recomendable comenzar el modelado creando un buen enrejado de “Grid” que cree puntos en la localización de los elementos más importantes en el plano (no se comparte imagen porque no aclara gran cosas).

Ahora comenzamos con el modelado de los cimientos y las bancadas. Estos elementos los vamos a crear en el grupo de estructuras, aunque no sean perfiles.

Para ello crearemos un “Site” que llamaremos LOCALIZACIONES. Este “Site” contendrá todos los cimientos, bancadas, soportes estructurales y accesorios (como aparatos de medición de los Briddles) del modelo. Dentro de este, crearemos una “Zone” para cada tipo de elemento, y dentro de cada Zone, crearemos un Framework para elemento.

Esta organización nos ayudara a encontrar fácilmente todos los elementos modelados y separarlos por partes. La organización se puede encontrar en la imagen de la derecha.

El suelo, junto con todas las bancadas y cimientos se han creado mediante prismas de diferentes tamaños y grosores. Para ello, después de la creación de los Framework, seleccionamos la ventana de general y dentro del Framework insertamos los prismas.



Imagen 21: organización las bancadas y cimientos en el mismo Site y diferentes Zone

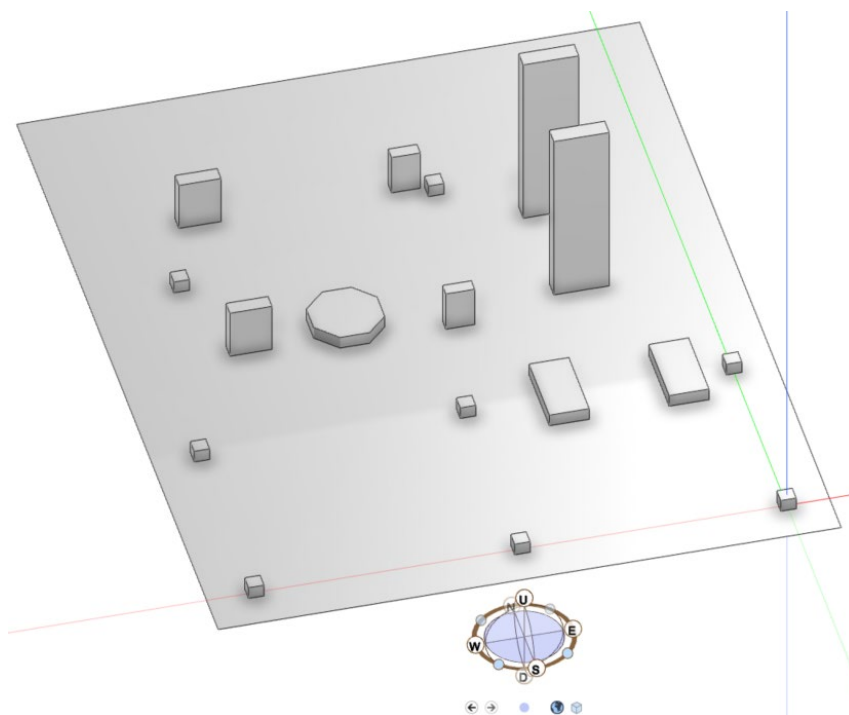


Imagen 22: representación 3D del suelo y las bancadas del modelo

3. Modelado de estructuras en AVEVA Everything 3D Desing

3.1. Piping Rack

Para poder modelar las estructuras es necesario crear primero un Site que llamaremos "RACK". Dentro de este site estarán todos los perfiles metálicos necesarios para la construcción del rack. Dentro del Site, crearemos una "Zone" que llamaremos "PIPE-RACK", dentro de esta crearemos una estructura principal llamada "RACK_PRINCIPAL" y dentro de esta estructura crearemos dos Framework, uno para los pórticos y para las vigas transversales que lo unen.

Ahora dentro de cada Framework introduciremos los perfiles necesitamos. Para ello desde la ventana de Section dentro modo structures (imagen 16 de este documento), configuraremos el perfil en "Defaults" y dentro del framework correcto crearemos un nuevo Straight. Para crear perfil solo tendremos que pinchar en el punto de inicio y en el

Luego podemos añadir las placas de anclaje (u otros elementos como orejetas, agujeros, aislantes, etc), pinchando en "Fitting", seleccionando la especificación del accesorio que queremos añadir en la estructura, y eligiendo entre una lista que nos ofrece el programa.

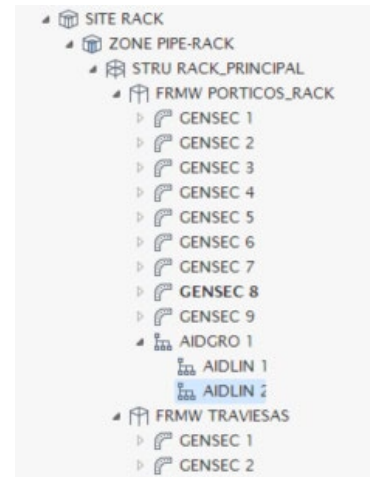


Imagen 23: organización las bancadas y cimientos en el mismo Site y diferentes Zone

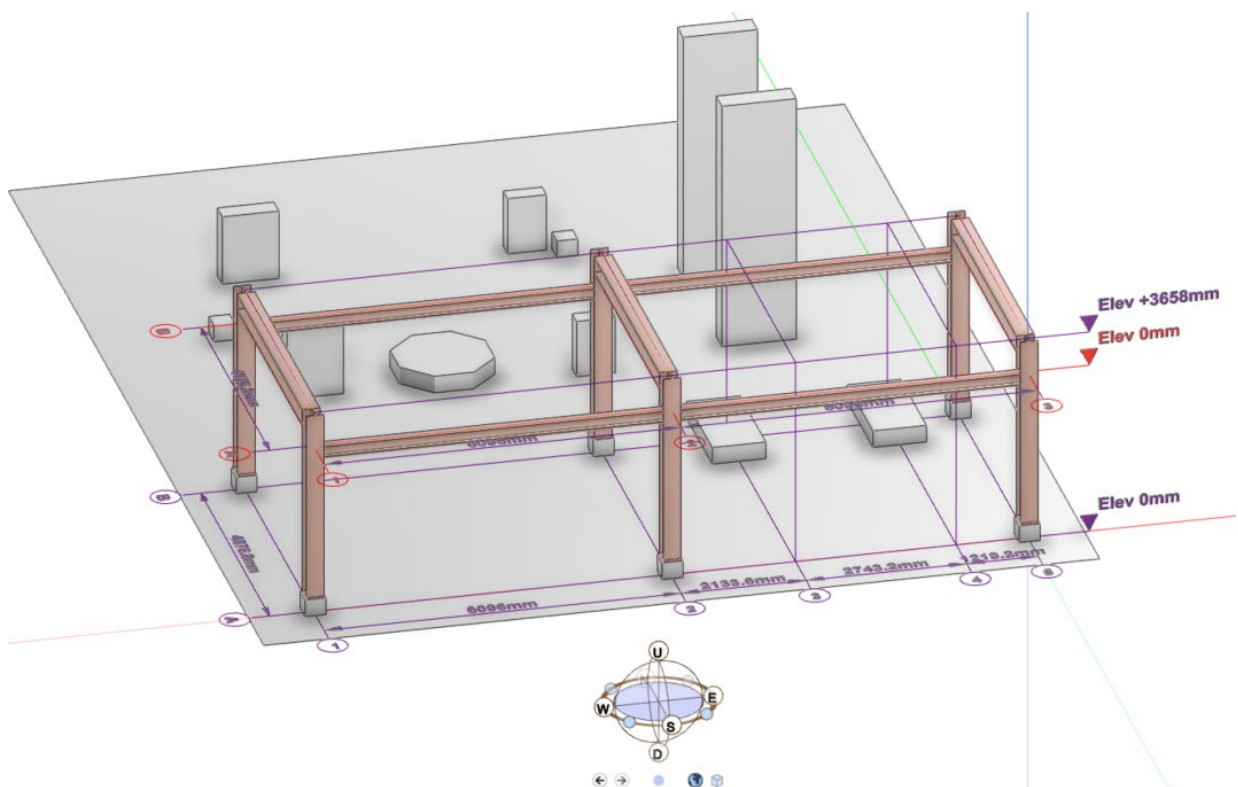


Imagen 24: representación en 3D de las estructuras del Rack sobre el Grid creado para ello

3.2. Soporte largo Ñ

Los soportes, al ser un elemento bastante simple, se han modelado junto a sus cimientos. Dentro del SITE LOCALIZACION y de la ZONE SOPORTES en la misma estructura donde se crearon los cimientos.

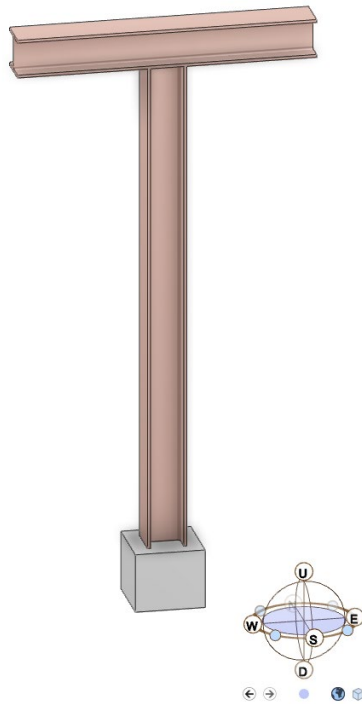


Imagen 25: modelo en AVEVA E3D del soporte largo Ñ

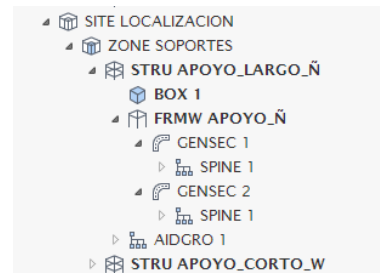


Imagen 26: organización del soporte largo Ñ

3.3. Soporte corto W

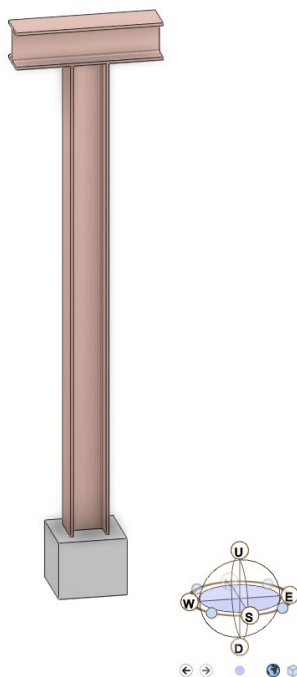


Imagen 27: modelo en AVEVA E3D del soporte corto

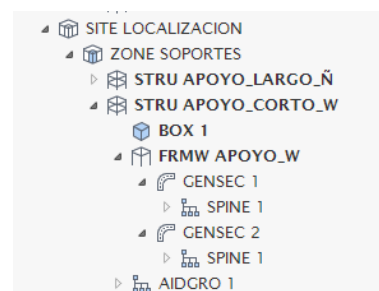


Imagen 28: organización del soporte corto W

4. Modelado de equipos en AVEVA Everything 3D Desing

4.1. Acumulador de Reflujo V-102

Lo primero y más necesario es conocer el equipo que se quiere moldear. En este ejemplo se va a modelar el depósito V-102, que es el más simple de los equipos. Su forma y medidas se pueden encontrar en el apartado “6.2. Acumulador de reflujo V-102” imagen 15 del anejo “Datos de partida”.

Para ello lo primero que hacemos es crear un “Site” donde estarán todos nuestros equipos, en este caso “Site Equipos”. Dentro de este Site crearemos una zona donde moldearemos nuestro equipo, “Zone Deposito_V-102” y dentro de esta Zone, creamos el equipo que llamaremos “Deposito” y dentro de este, un “Sub-Equipment” donde crearemos el equipo introduciendo las formas básicas que nos permite el programa.

Como se puede apreciar en la imagen de la derecha, todos los equipos se han modelado dentro del mismo “Site”. Este Site se han clasificado por tipos de equipos, juntando las bombas o los intercambiadores en el mismo espacio (Zone).

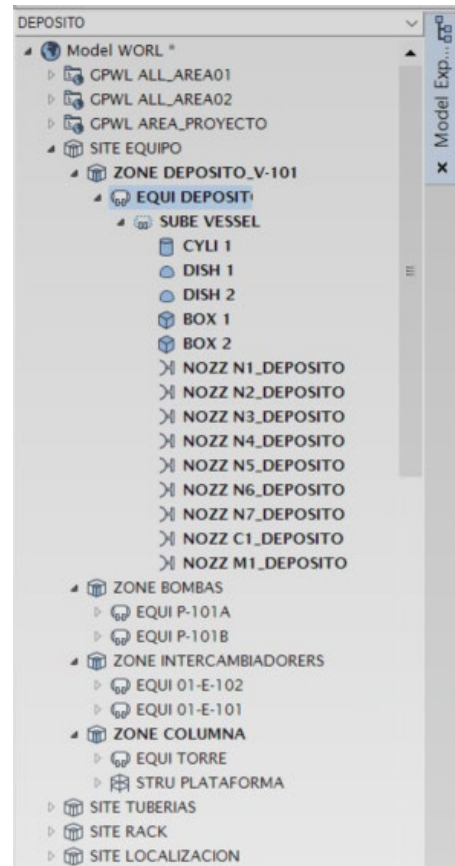


Imagen 29: organización de equipos en el mismo Site y diferentes Zone

Ahora que ya tenemos la jerarquía que exige el programa definida, podemos comenzar con el modelado del depósito dentro de “SUBE VESSEL”.



Imagen 30: formas básicas para modelación en E3D

En este espacio introduciremos primero un gran cilindro de 1219,2mm de diámetro y 4572mm de longitud que hará de cuerpo principal del depósito, este cuerpo lo remataremos con dos semiesferas del mismo diámetro y 400mm de longitud. Después crearemos dos prismas rectangulares tal y como se muestra en los planos del fabricación del depósito, que harán de soporte para el cuerpo de este.

Por último, colocaremos todas las toberas en el equipo, estas deberán tener el diámetro y nomenclatura indicado en el plano de fabricación para luego poder conectar la tuberías en su sección correcta.

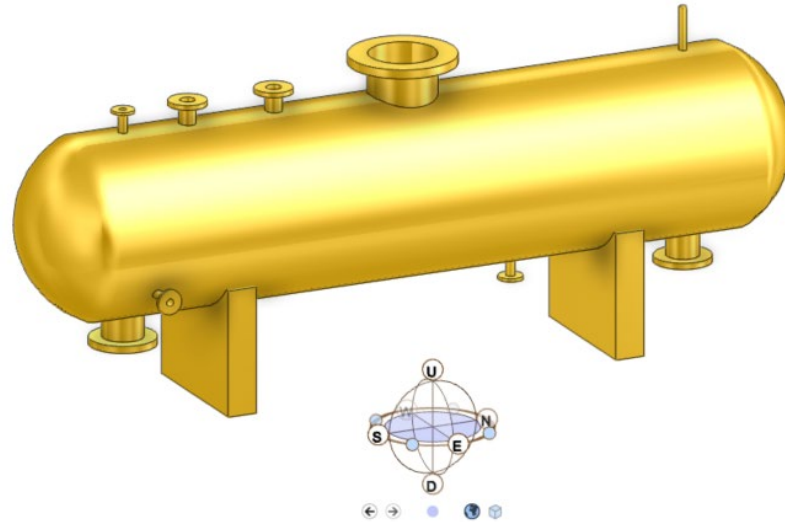


Imagen 31: captura del deposito V-101 modelado en AVEVA Everytinghs 3D

4.2. Intercambiador Hervidor Reboiler E-101

Para crear este equipo nos hemos fijado en el plano de fabricación que encontramos en el apartado "6.3. Reboiler E-101" imagen 16, anejo "datos de partida".

Ha sido muy interesante su creación ya que tiene dos ejes longitudinales diferentes, uno para el cuerpo y otro para la cabeza. Para crear este equipo se han utilizado las formas básicas que se muestran en la imagen 33.

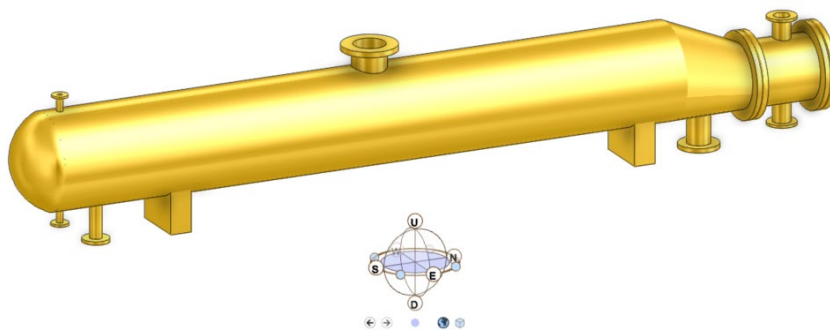


Imagen 32: representación del intercambiador hervidor E-101

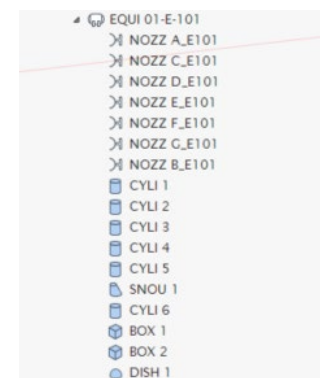


Imagen 33: toberas y formas básicas necesarias para la modelación del intercambiador E-101

4.3. Condensador de cabeza E-102

Este condensador se ha creado conforme lo establecido en el apartado "6.4. Condensador E-102" imagen 17 del anejo "Datos de partida".

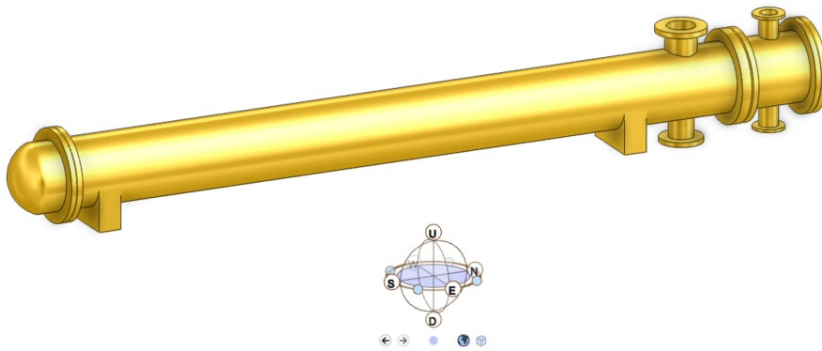


Imagen 34: representación del intercambiador condensador E-102

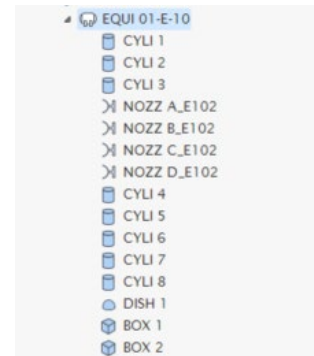


Imagen 35: figuras necesarias para modelar el intercambiador E-102

Para crear este modelo se han utilizado las formas básicas que se muestran en la imagen 35.

4.4. Bombas P101A y P101B

Para la creación de las bombas se ha tomado un modelo de la biblioteca y se ha modificado los parámetros para que se aproxime a la de nuestro modelo. Por ello en vez de estar dentro de un subequipo, está en TMPL 1. Ambas bombas son iguales en sus valores físicos.

Las bombas se han creado siguiendo el modelo que se presenta en el apartado "6.5. Bombas P-101 A & P-101 B" imagen 18 del anejo "Datos de partida".

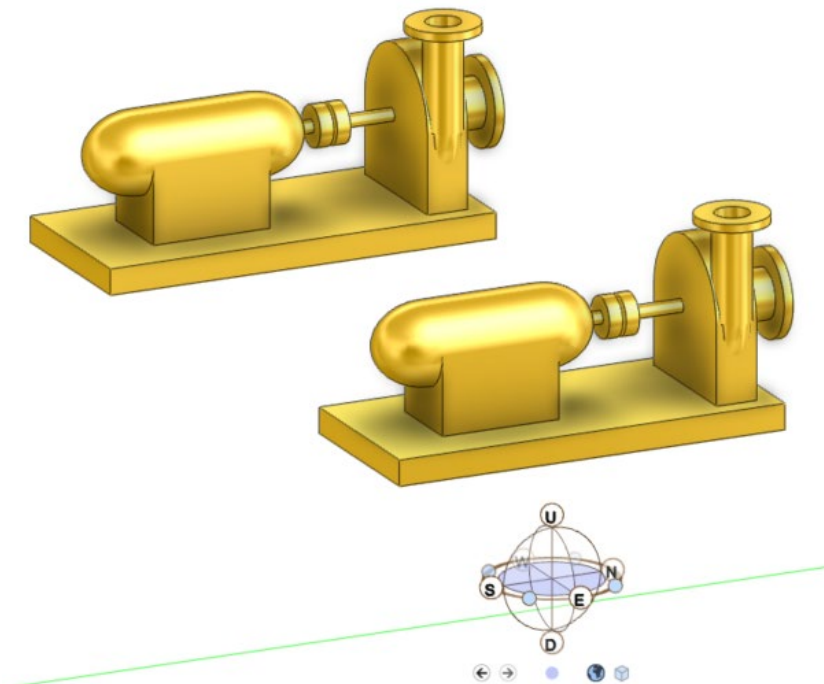


Imagen 36: representación del modelo bombas P-101A y P-101B

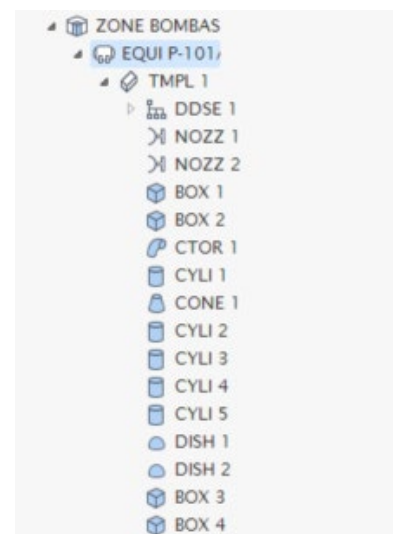


Imagen 37: figuras necesarias para modelar el intercambiador E-102

4.5. Torre depropanizadora V-101

Este es el equipo más complejo de los modelados en el proyecto. Este equipo se divide en dos subequipos (la base y el cuerpo) y una zona de estructuras donde se sitúan las plataformas, escaleras y barandillas. Las medidas se toman siguiendo los planos que encontramos en el apartado “6.1. Depropanizadora V-101”, imágenes 11, 12, 13 y 14 del anejo “Datos de partida”.

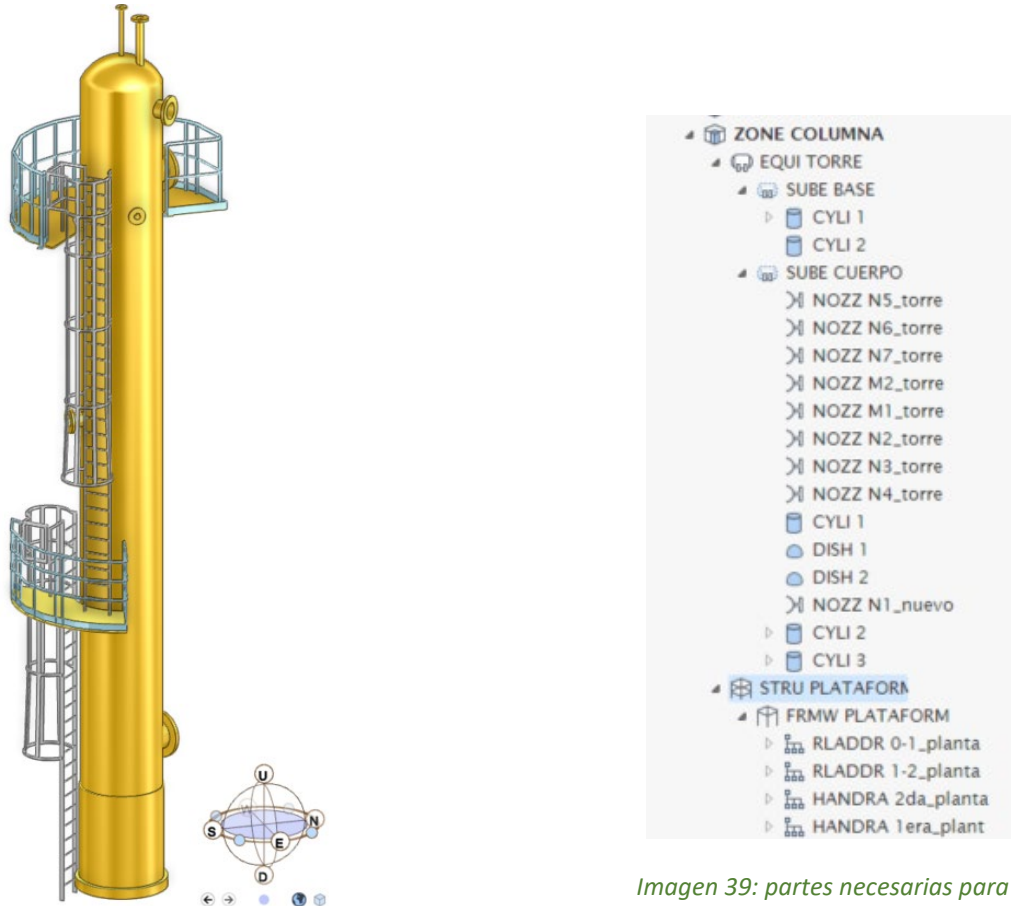


Imagen 38: representación del modelo de la torre de fraccionamiento V-101

Imagen 39: partes necesarias para el modelado completo de la torre de fraccionamiento.

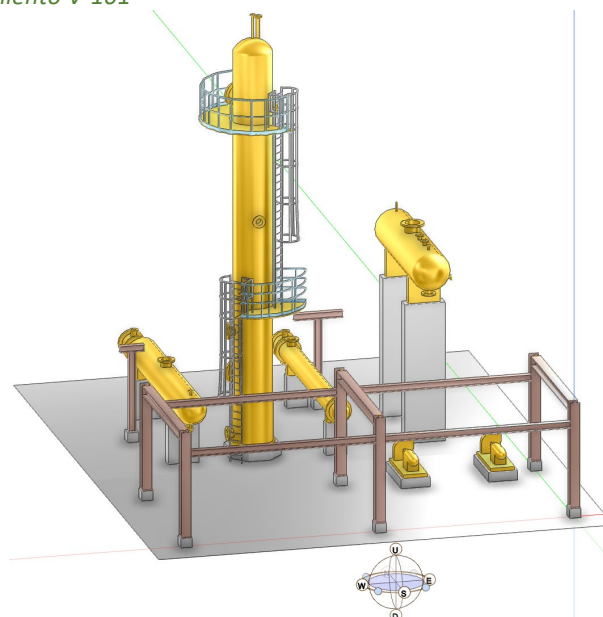


Imagen 40: representación del modelo con las estructuras y equipos ya modelados.

5. Modelado de las tuberías en AVEVA Everything 3D Desing

Ahora que ya tenemos los cimientos, las estructuras y los equipos situados en su posición, comenzamos con el modelado de las líneas de tuberías.

Para ello lo primero que tenemos que hacer es crear un Site y una Zone ("SITE TUBERIAS" y "ZONE Conexión Equipos" se han nombrado en este modelo. Y ahora que tenemos creada la jerarquía necesaria, entramos en el modo "PIPING" arriba a la izquierda y creamos una nueva tubería (Pipe) dentro de la zona.

Cuando pinchemos en nueva tubería, se desplegará una nueva ventana donde introducir los valores de la nueva línea (sección, condiciones de trabajo, aislamiento, etc.).

Create New P

Pipe Name:

Primary System:

Select Pipe Specification

A150
A1A
A300
A3B
C150
CADC/HS/MASTER/SPEC/ATTA
DR07C
ELEC
F1C
FIRE
HOLD
LAYOUT150
LAYOUT1500
LAYOUT300
LAYOUT600
LAYOUT900
OGLAEND-FTE-50-FRP
OGLAEND-FTE-80-FRP
OGLAEND-RZE-P-HDG
OGLAEND-RZE-P-PG
OGLAEND-RZE-P-PR
OGLAEND-RZE-P-SS
SP/DR07C
TUBETEST
TUBETEST-SS

Total Items = 25

Basic Pipe Process Data

Bore:

Insulation:

Tracing:

Temperature:

Pressure:

Slope Ref:

Apply

Imagen 41: ventana para valores de las líneas en AVEVA E3D.

Pip 1-C30-8

Pipe Sp A300

Connectiv

Branch	Head	Tail
B1	/N3_torre	Positioned

Branch 1-C30-8/B1

Branch Sp A300

Branch Slo unset

Branch H... Branch...

Connected to Nozzle /N3_torre

Connect to:

+ List of connecti

Bore:

Connect on:

Direction:

Position wrt W

Format

West	<input type="text" value="7924.8mm"/>	<input type="checkbox"/>
North	<input type="text" value="7721.6mm"/>	<input type="checkbox"/>
Up	<input type="text" value="7620mm"/>	<input type="checkbox"/>

Position along centr

Nuda

Apply

Imagen 42: ventana para indicar comienzo y fin de los Branch

Después de elegir los valores principales, se confirman en Apply y nos sale una nueva ventana donde modelar la línea. En esta ventana (imagen 42 de este documento), lo primero que tendremos que hacer es indicar el comienzo de la línea (Branch Head) y el final (Branch Tail) y conectar la línea a estos puntos. Al hacerse se crearán una bridas y su junta en la conexión.

Ahora que ya tenemos el inicio y el final de la línea indicados, abriremos la ventana de “Create components” y se nos desplegará una nueva ventana como la de la imagen 43 donde poder añadir y configurar los accesorios y componentes de la línea. Para ello pincharemos en el icono del componente necesario entre todos los ofrecidos, y de la lista de selección, elegiremos el que necesita nuestro modelo (se ha seleccionado una válvula para la captura), cuando ya la tenemos seleccionada, la insertamos en el modelo dando al icono de una brida conectándose a otra debajo de “Create components”

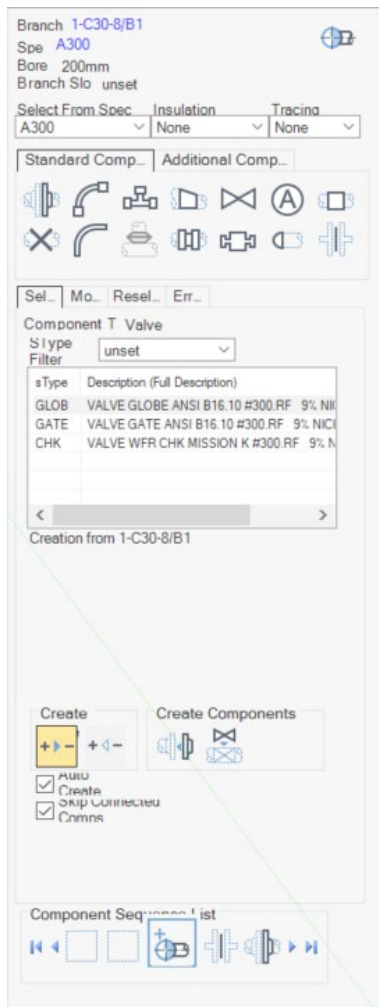


Imagen 43: ventana para la selección e inserción de componentes o accesorios en el modelo

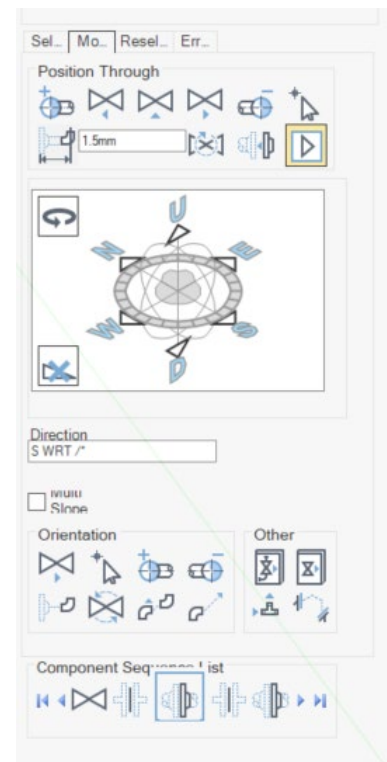


Imagen 44: herramienta para modificar los componentes o accesorios del modelo

Ahora que ya está insertado el accesorio en el modelo, al lado de la pestaña de selección, hay otra pestaña donde se puede leer “MO...”, en la imagen 44 se puede ver esta pestaña, gracias a la que podremos girar y desplazar el accesorio en el modelo (la tubería se creará sola uniendo los accesorios si están en línea) y crear pendiente para las tuberías que se generan para unir los accesorios.

5.1. Línea 1 → 1-C30-8

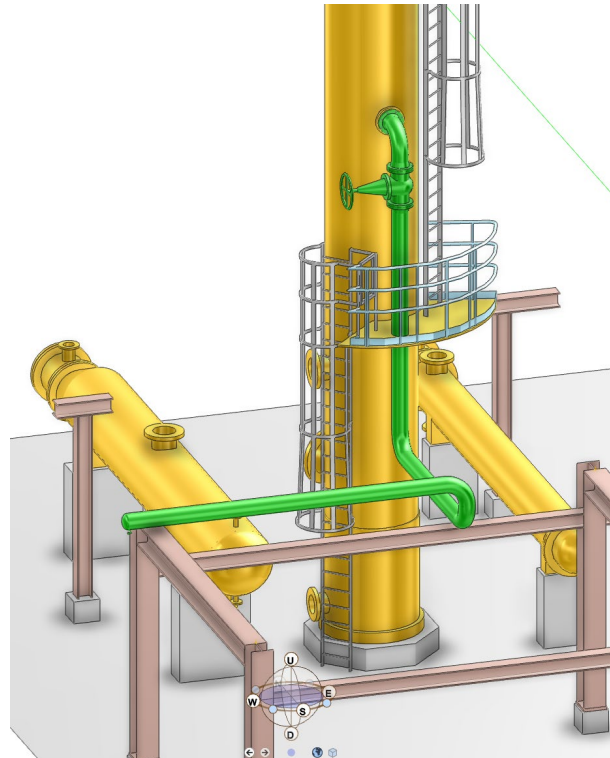


Imagen 45: configuración de la línea 1-C30-8" en AVEVA E3D

Imagen 46: modelo 3D de la línea 1-C30-8"

5.2. Línea 2 → 02-C30-10"

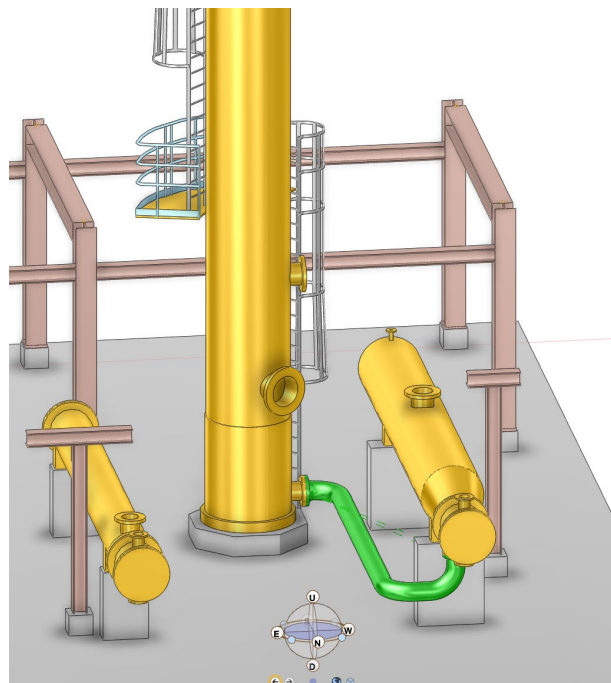


Imagen 47: configuración de la línea 2-C30-10" en AVEVA E3D

Imagen 48: modelo 3D de la línea 2-C30-10"

5.3. Línea 3 → 03-C30-12"

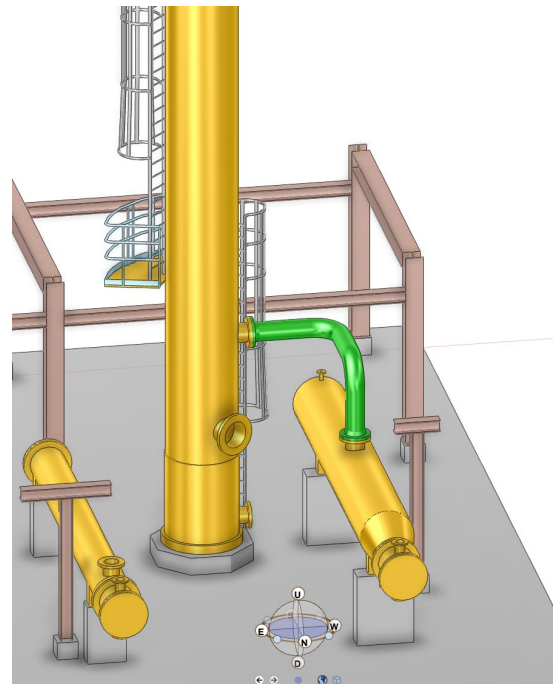


Imagen 49: configuración de la línea 3-C30-10" en AVEVA E3D

Imagen 50: modelo 3D de la línea 3-C30-10"

5.4. Línea 4 → 4-C30-10"

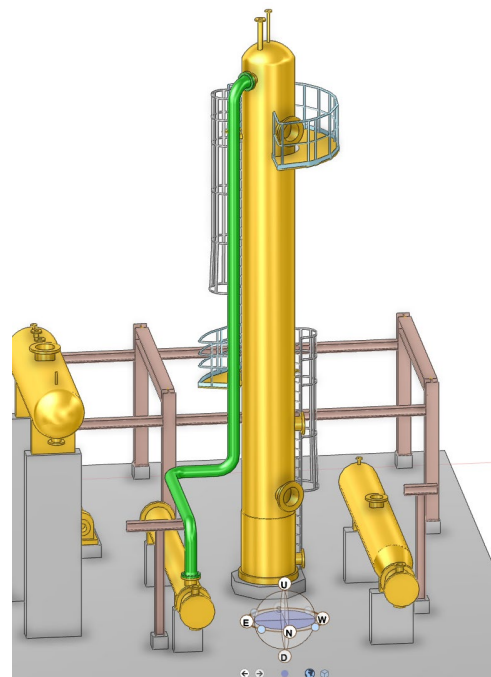
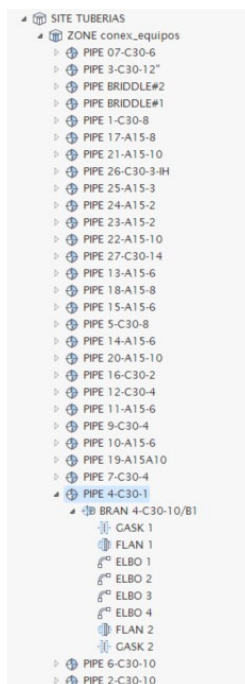


Imagen 51: configuración de la línea 4-C30-10" en AVEVA E3D

Imagen 52: modelo 3D de la línea 4-C30-10"

5.5. Línea 5 → 5-C30-8"

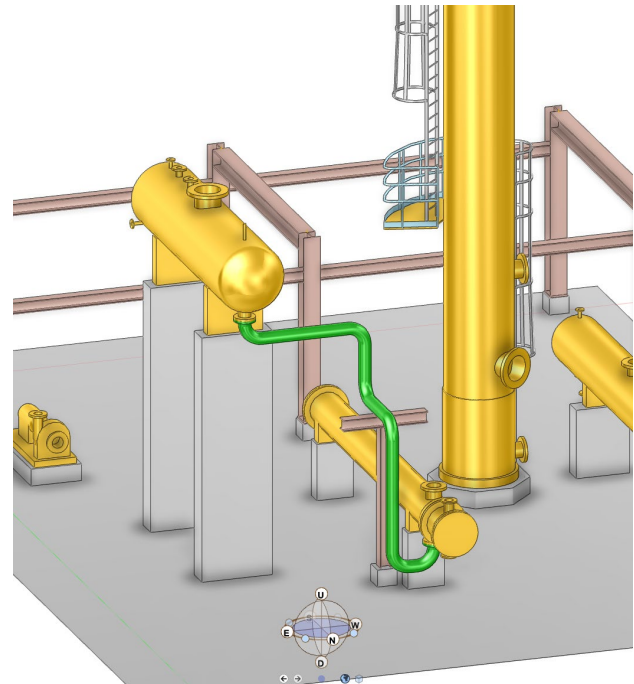


Imagen 53: configuración de la línea 5-C30-8" en AVEVA E3D

Imagen 54: modelo 3D de la línea 4-C30-10"

5.6. Línea 6 → 6-C30-10"

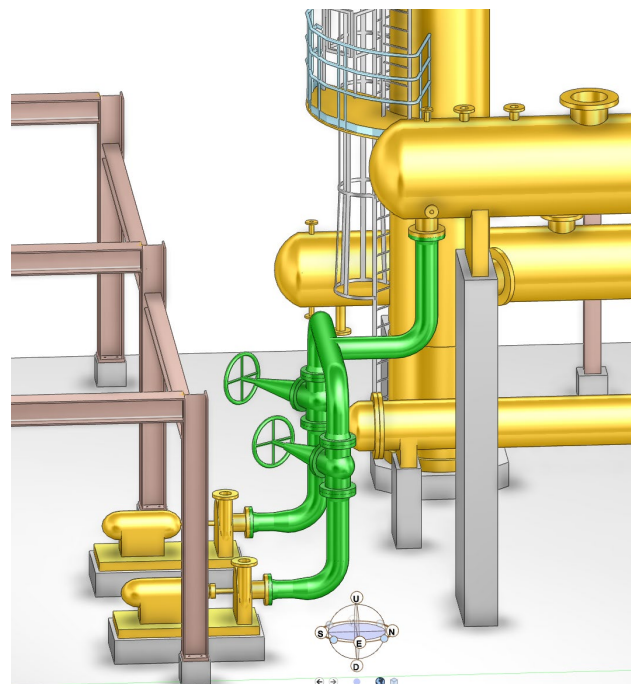
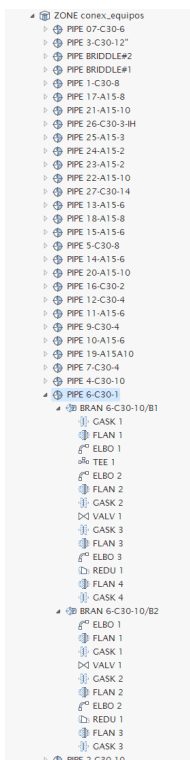


Imagen 55: configuración de la línea 6-C30-10" en AVEVA E3D

Imagen 56: modelo 3D de la línea 6-C30-10"

5.7. Línea 7 → 7-C30-4" y 7-C30-6"

- ▶ PIPE 17-A15-8
- ▶ PIPE 21-A15-10
- ▶ PIPE 26-C30-3-H
- ▶ PIPE 25-A15-3
- ▶ PIPE 24-A15-2
- ▶ PIPE 23-A15-2
- ▶ PIPE 22-A15-10
- ▶ PIPE 27-C30-14
- ▶ PIPE 13-A15-6
- ▶ PIPE 18-A15-8
- ▶ PIPE 15-A15-6
- ▶ PIPE 5-C30-8
- ▶ PIPE 14-A15-6
- ▶ PIPE 20-A15-10
- ▶ PIPE 16-C30-2
- ▶ PIPE 12-C30-4
- ▶ PIPE 11-A15-6
- ▶ PIPE 9-C30-4
- ▶ PIPE 10-A15-6
- ▶ PIPE 19-A15A10
- ▶ PIPE 7-C30-4
 - ▶ BRAN 7-C30-4/B1
 - ▶ FLAN 1
 - ▶ TEE 1
 - ▶ FLAN 2
 - ▶ GASK 1
 - ▶ VALV 1
 - ▶ GASK 2
 - ▶ FLAN 3
 - ▶ ELBO 2
 - ▶ FLAN 4
 - ▶ GASK 3
 - ▶ VALV 2
 - ▶ GASK 4
 - ▶ FLAN 5
 - ▶ ELBO 3
 - ▶ FLAN 6
 - ▶ GASK 5
 - ▶ VALV 2
 - ▶ GASK 6
 - ▶ FLAN 7
 - ▶ TEE 2
 - ▶ ELBO 4
 - ▶ ELBO 5
 - ▶ ELBO 6
 - ▶ REDU 1
 - ▶ BRAN 7-C30-4/B2
 - ▶ FLAN 1
 - ▶ GASK 1
 - ▶ VALV 1
 - ▶ GASK 2
 - ▶ FLAN 2
- ▶ PIPE 4-C30-10
- ▶ PIPE 6-C30-10
- ▶ PIPE 2-C30-10

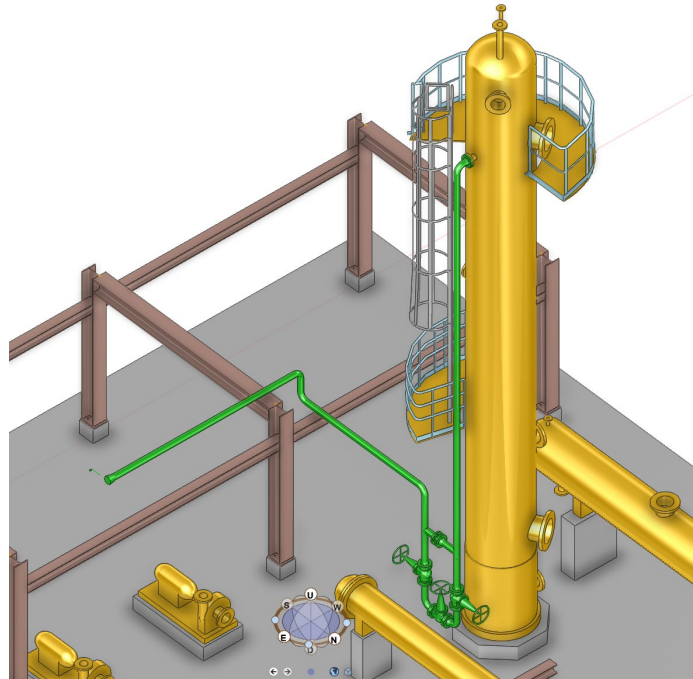


Imagen 57: configuración del Branch 7-C30-4" en AVEVA E3D

Imagen 58: modelo 3D del Branch 7-C30-4"

- ▶ SITE TUBERIAS
 - ▶ ZONE conex_equipos
 - ▶ PIPE 07-C30-6
 - ▶ BRAN 07-C30-6/B1
 - ▶ FLAN 1
 - ▶ GASK 1
 - ▶ VALV 1
 - ▶ GASK 2
 - ▶ FLAN 2
 - ▶ ELBO 1
 - ▶ TEE 1
 - ▶ ELBO 2
 - ▶ ELBO 3
 - ▶ TEE 2
 - ▶ CAP 1
 - ▶ GASK 3
 - ▶ FLAN 3
 - ▶ BRAN 07-C30-6/B2
 - ▶ GASK 1
 - ▶ FLAN 1
 - ▶ FLAN 2
 - ▶ GASK 2
 - ▶ VALV 1
 - ▶ GASK 3
 - ▶ FLAN 3
 - ▶ ELBO 1
 - ▶ CAP 1
 - ▶ PIPE 3-C30-12"
 - ▶ PIPE BRIDDLE#2
 - ▶ PIPE BRIDDLE#1
 - ▶ PIPE 1-C30-8
 - ▶ PIPE 17-A15-8
 - ▶ PIPE 21-A15-10
 - ▶ PIPE 26-C30-3-H
 - ▶ PIPE 25-A15-3
 - ▶ PIPE 24-A15-2
 - ▶ PIPE 23-A15-2
 - ▶ PIPE 22-A15-10
 - ▶ PIPE 27-C30-14
 - ▶ PIPE 13-A15-6
 - ▶ PIPE 18-A15-8
 - ▶ PIPE 15-A15-6
 - ▶ PIPE 5-C30-8
 - ▶ PIPE 14-A15-6
 - ▶ PIPE 20-A15-10
 - ▶ PIPE 16-C30-2
 - ▶ PIPE 12-C30-4
 - ▶ PIPE 11-A15-6
 - ▶ PIPE 9-C30-4
 - ▶ PIPE 10-A15-6
 - ▶ PIPE 19-A15A10
 - ▶ PIPE 7-C30-4
 - ▶ PIPE 4-C30-10
 - ▶ PIPE 6-C30-10
 - ▶ PIPE 2-C30-10

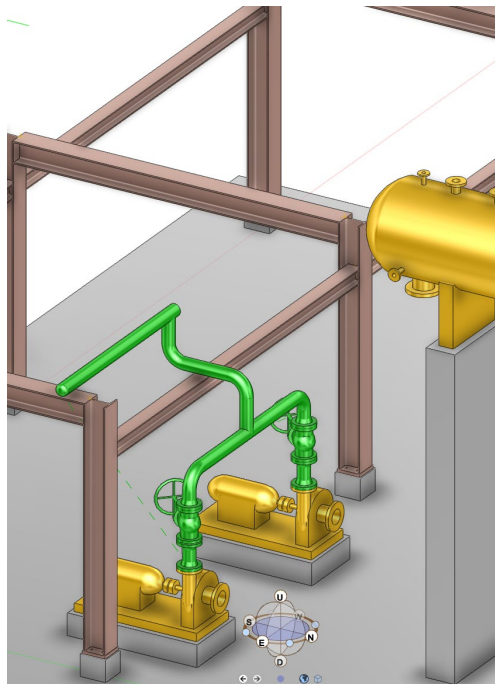


Imagen 59: configuración del Branch 7-C30-6" en AVEVA E3D

Imagen 60: modelo 3D del Branch 7-C30-6"

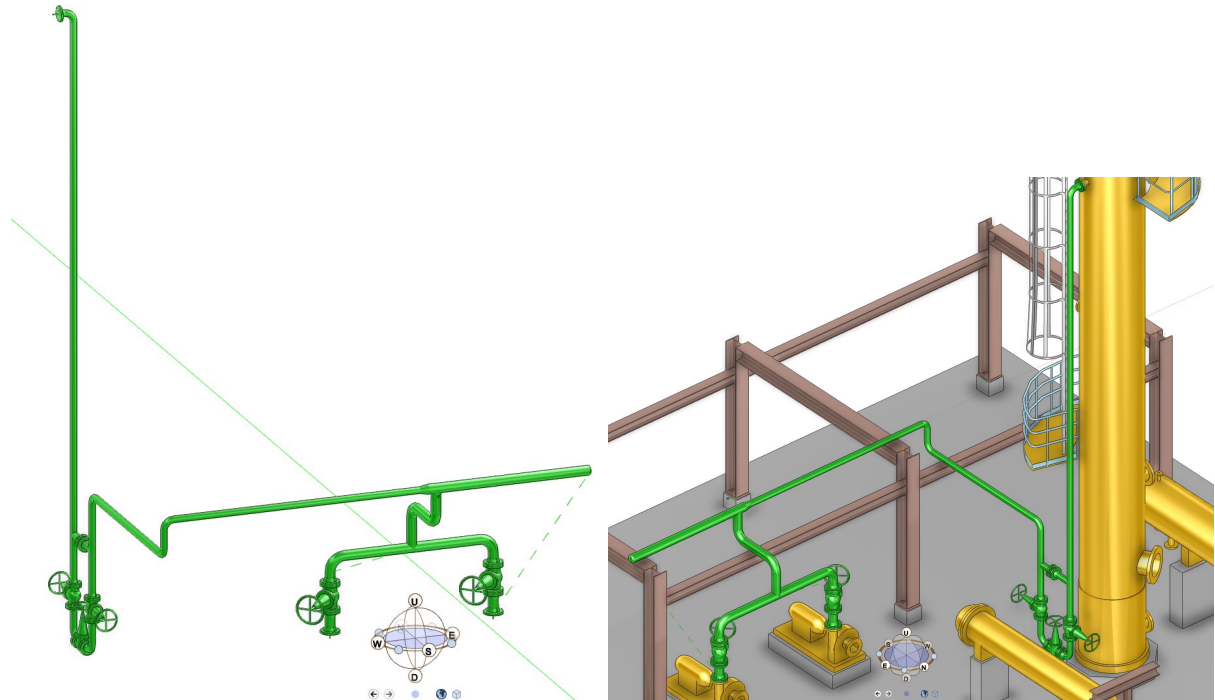


Imagen 61: representación de la línea 7-C30-X" con sus dos Brach conectados

5.8. Línea 9 → 9-C30-4"

- > PIPE 23-A15-2
- > PIPE 22-A15-10
- > PIPE 27-C30-14
- > PIPE 13-A15-6
- > PIPE 18-A15-8
- > PIPE 15-A15-6
- > PIPE 5-C30-8
- > PIPE 14-A15-6
- > PIPE 20-A15-10
- > PIPE 16-C30-2
- > PIPE 12-C30-4
- > PIPE 11-A15-6
- > PIPE 9-C30-4
- > BRAN 9-C30-4/B1
 - FLAN 1
 - FLAN 2
 - ELBO 1
 - ELBO 2
 - ELBO 3
 - ELBO 4
 - TEE 1
 - FLAN 3
 - GASK 2
 - VALV 1
 - GASK 3
 - FLAN 4
 - ELBO 5
 - FLAN 5
 - GASK 4
 - VALV 2
 - GASK 5
 - FLAN 6
 - ELBO 6
 - FLAN 7
 - GASK 6
 - GASK 7
 - FLAN 8
 - ELBO 7
 - ELBO 8
 - ELBO 9
 - CAP 1
- > BRAN 9-C30-4/B2
 - FLAN 1
 - GASK 1
 - VALV 1
 - GASK 2
 - FLAN 2
- > PIPE 10-A15-6
- > PIPE 19-A15A10
- > PIPE 7-C30-4
- > PIPE 4-C30-10
- > PIPE 6-C30-10
- > PIPE 2-C30-10

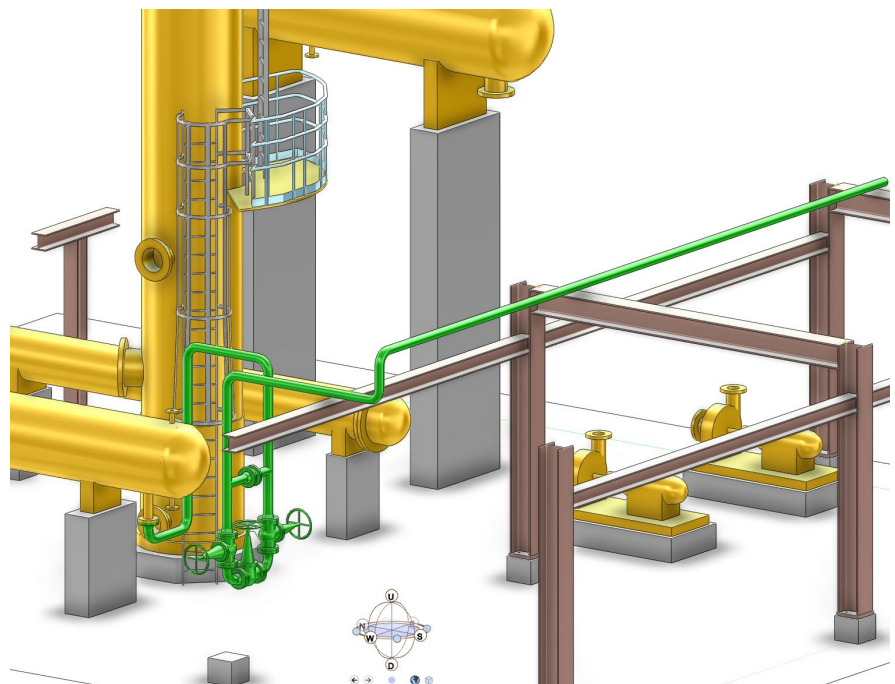


Imagen 62: configuración de la línea 9-C30-4" en AVEVA E3D

Imagen 63: modelo 3D de la línea 9-C30-4"

5.9. Línea 10 → 10-A15-6"

Se conecta con la línea 19-A15-10"

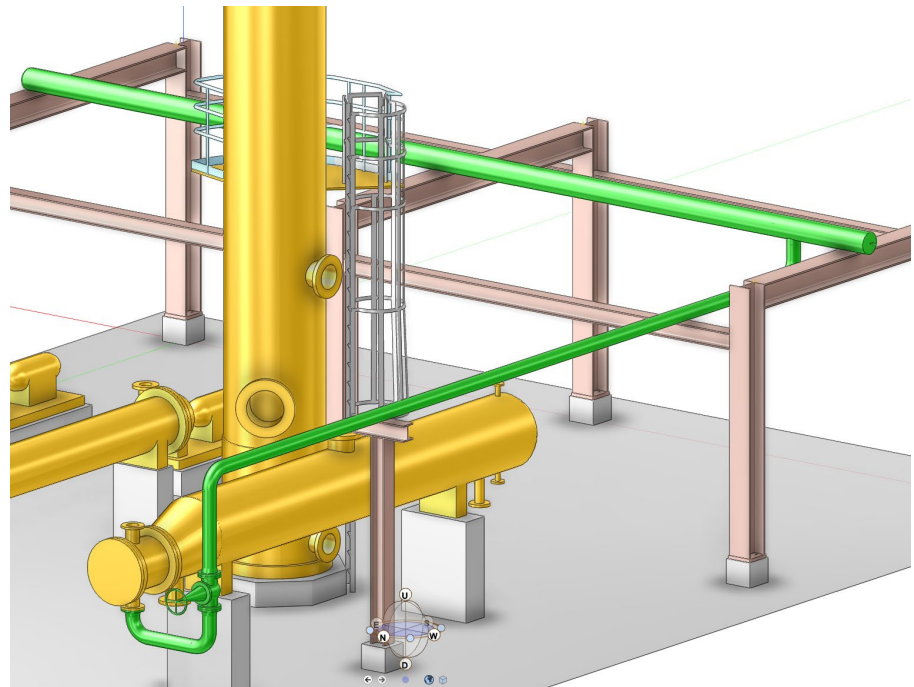
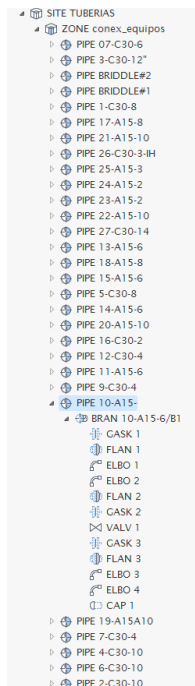


Imagen 64: configuración de la línea 10-A15-6" en AVEVA E3D

Imagen 65: modelo 3D de la línea 10-A15-6"

5.10. Línea 11 → 11-A15-6"

Se conecta con la línea 20-A15-10".

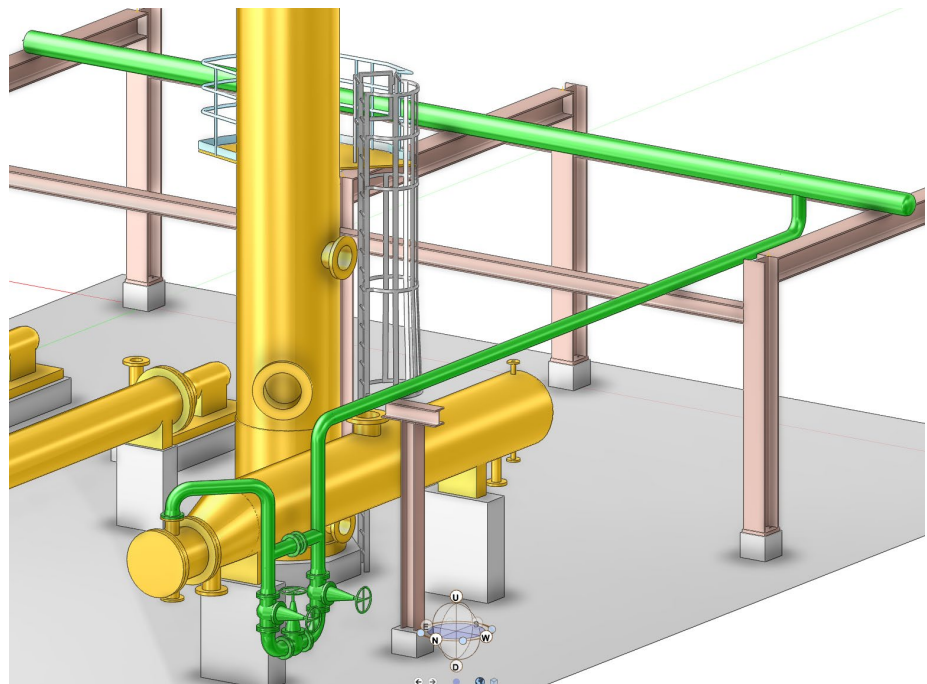
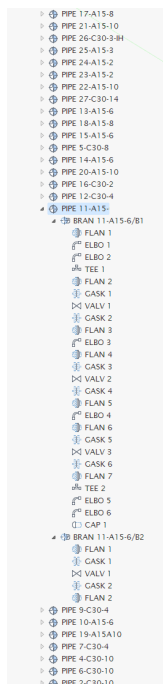


Imagen 66: configuración de la línea 11-A15-6" en AVEVA E3D

Imagen 67: modelo 3D de la línea 11-A15-6"

5.11. Línea 12 → 12-C30-4"

Se conecta a la línea 17-A15-8"

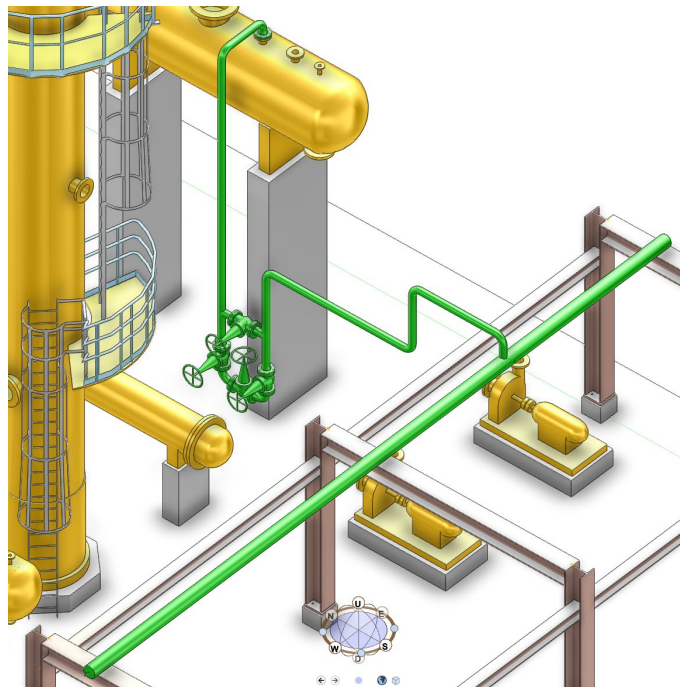
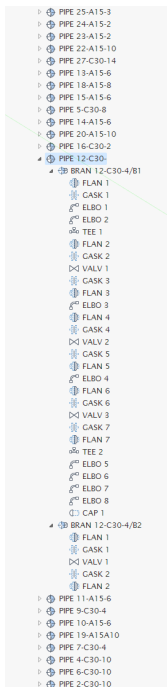


Imagen 68: configuración de la línea 12-C30-4" en AVEVA E3D

Imagen 69: modelo 3D de la línea 12-A15-4"

5.12. Línea 13 → 13-A15-6"

Se conecta con la línea 18-A15-8"

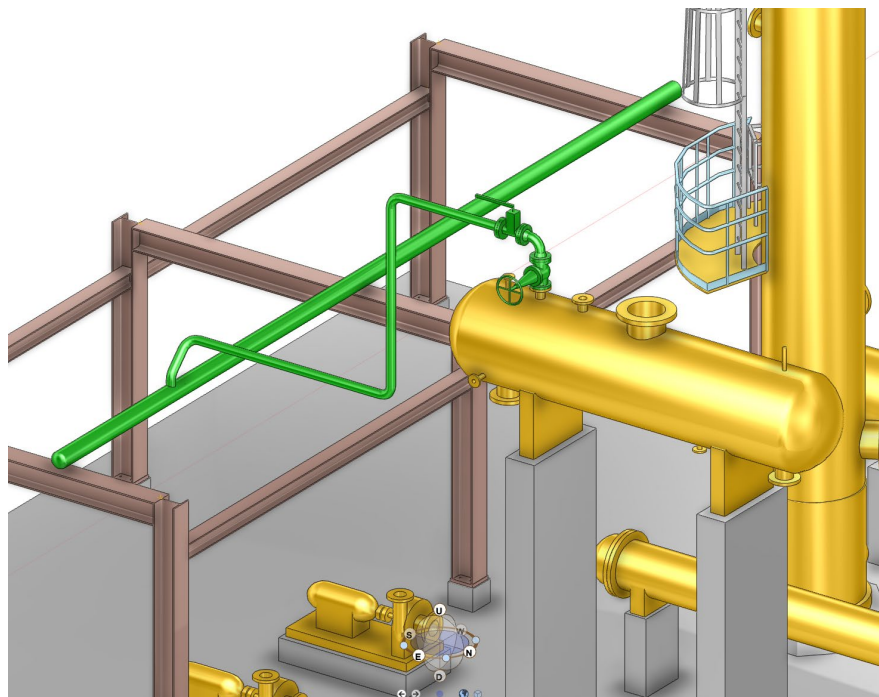
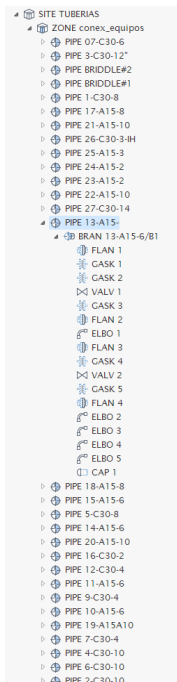


Imagen 70: configuración de la línea 13-A15-6" en AVEVA E3D

Imagen 71: modelo 3D de la línea 13-A15-6"

5.13. Línea 14 → 14-A15-6"

Se conecta con la línea 21

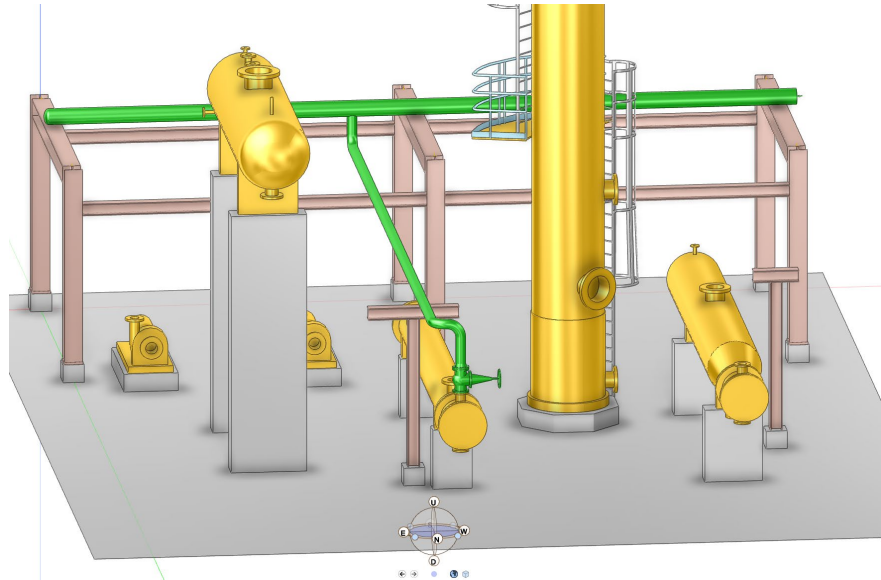
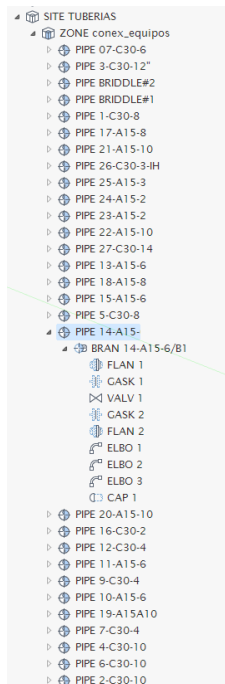


Imagen 72: configuración de la línea 14-A15-6" en AVEVA E3D

Imagen 73: modelo 3D de la línea 14-A15-6"

5.14. Línea 15 → 15-A15-6"

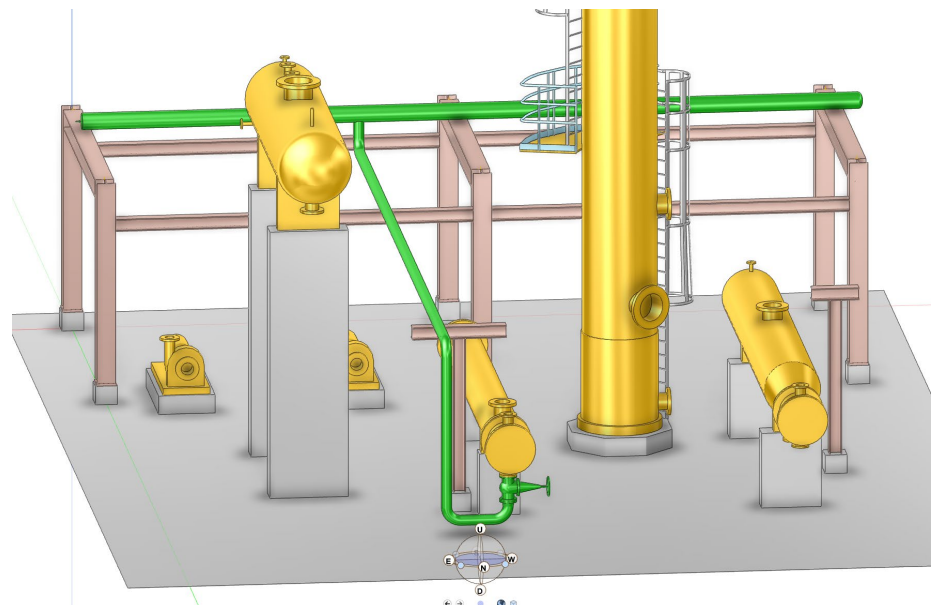
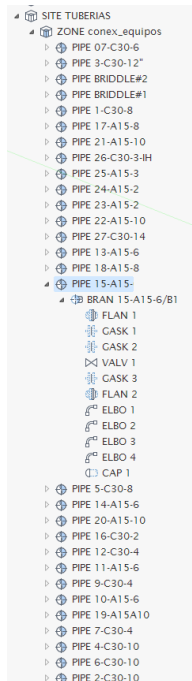


Imagen 74: configuración de la línea 15-A15-6" en AVEVA E3D

Imagen 75: modelo 3D de la línea 15-A15-6" y su conexión con la línea 21-A15-10"

5.15. Línea 16 → 16-C30-2"

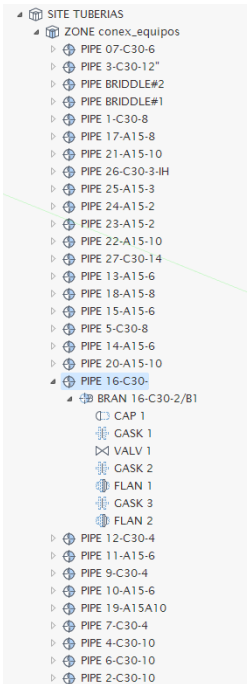


Imagen 76: configuración de la línea 16-C30-2" en AVEVA E3D

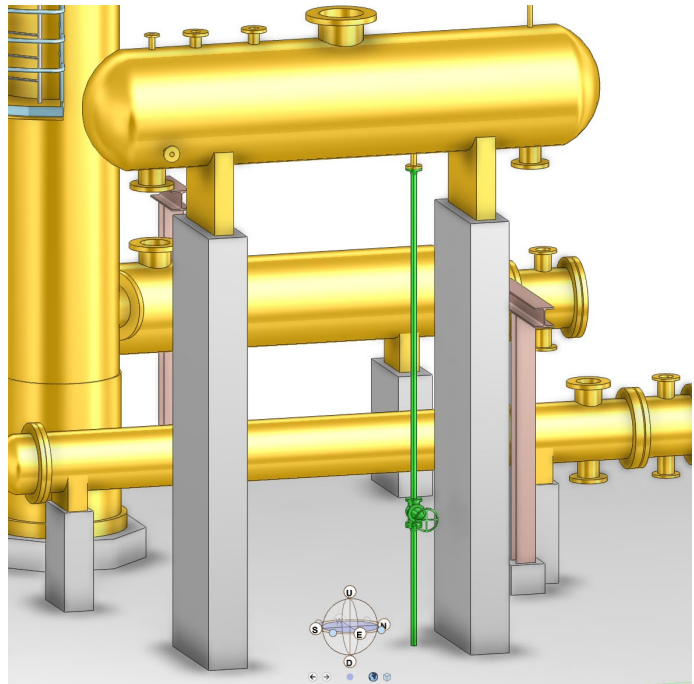


Imagen 77: modelo 3D de la línea 16-C30-2"

5.16. Resto de líneas

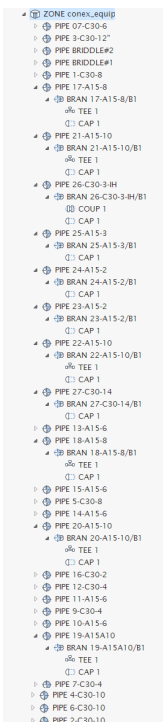


Imagen 78: configuración de las líneas que atraviesan el rack; 17-A15-8", 21-A15-10", 26-C30-3", 25-A15-3", 24-A15-2", 23-A15-2", 22-A15-10", 27-C30-10", 18-A15-8", 20-A15-10" y 19-A15-10"

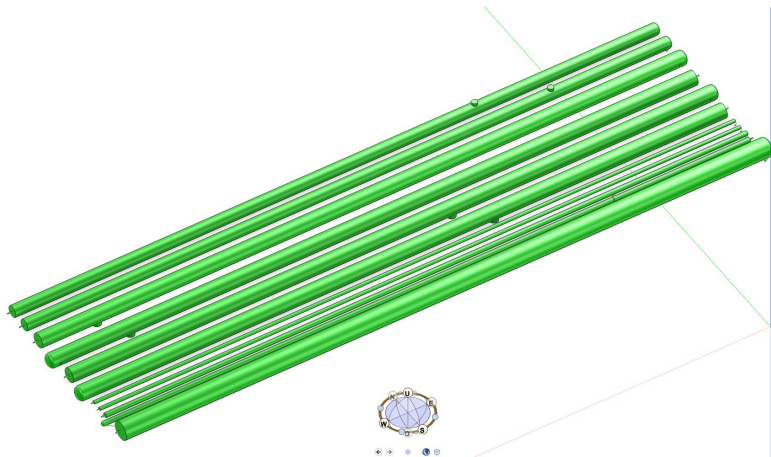


Imagen 79: modelo 3D de las líneas 17-A15-8", 21-A15-10", 26-C30-3", 25-A15-3", 24-A15-2", 23-A15-2", 22-A15-10", 27-C30-10", 18-A15-8", 20-A15-10" y 19-A15-10"

5.17. Briddle #1

Los Briddles son elementos que aúnan tuberías e instrumentos de medición para obtener información de los equipos a los que se conectan. En la unidad de depropanizadora se necesitan dos, el primero conectado al intercambiador hervidor E-101 y el segundo al depósito acumulador V-102.

Para poder crear los Briddles y darles una apariencia más real, se han añadido partes que ocupan el espacio de instrumentos de medición. Estas partes se han moldeado dentro del Site "SITE LOCALIZACION", en la Zone "ZONE BRIDDLES".

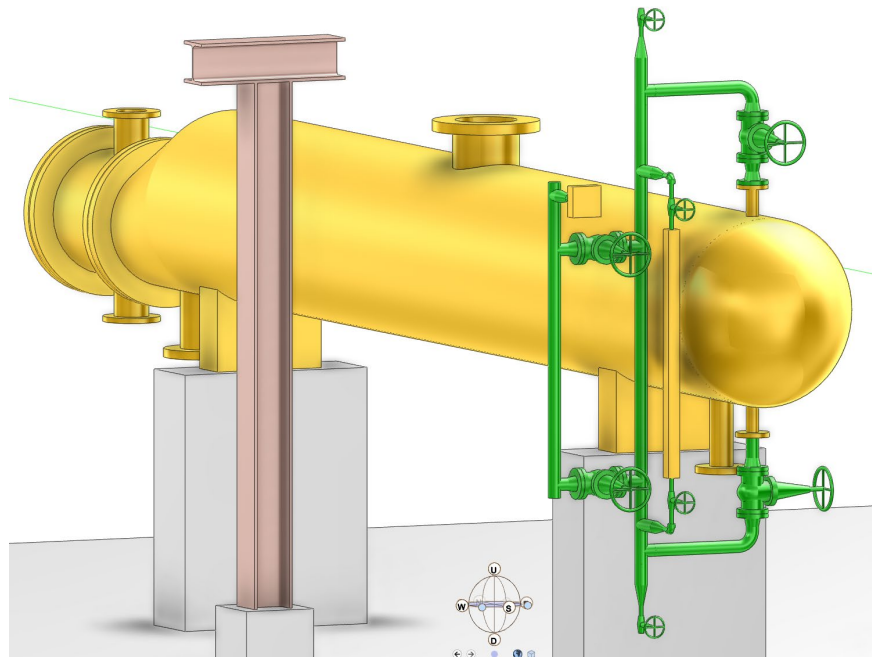
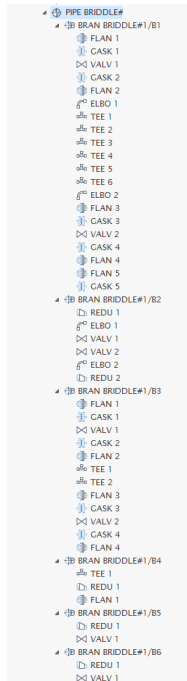


Imagen 80: configuración del Briddle #1 en AVEVA E3D

Imagen 81: modelo 3D del Briddle #1

5.18. Briddle #2

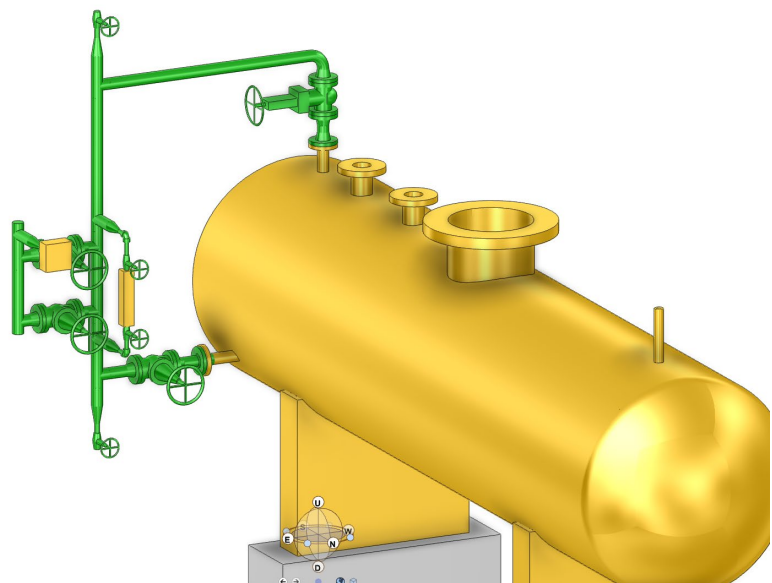
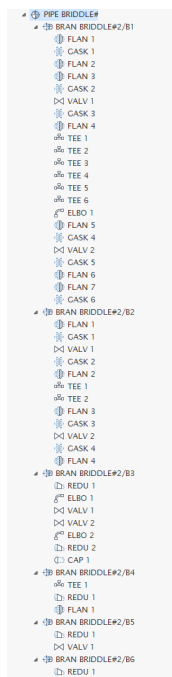


Imagen 82: configuración del Briddle #2 en AVEVA E3D

Imagen 83: modelo 3D del Briddle #2

6. Soportes

Para crear los soportes, es necesario entrar en el grupo “Supports”. A diferencia del resto de elementos modelados en el programa, los soportes no se pueden crear en un “Site” y una “Zone” específico, sino que el programa agrupa todos los soportes en el mismo Site y Zone sin dar posibilidad de cambio.

Como se ha comentado anteriormente, únicamente tenemos acceso a dos bibliotecas en esta versión, permitiéndonos insertar únicamente Trunnion y soportes estructurales (como los de la imagen 87), sin permitir insertar guías, patines, abrazaderas o cualquier elemento de unión entre la tubería y la estructura.

6.1. Trunnion

En este modelo se han insertado 4 Trunnion, que se encuentran en sustentando las líneas:

- 7-C30-4”
- 9-C30-4”
- 11-A15-6”
- 12-C30-4”

Estas líneas tienen en común que todas poseen una estación de válvulas de control en el punto más bajo de la línea. Estas estaciones cargan mucho la línea y por ello es necesario la instalación de trunnion en los codos más bajos. Los Trunnion son unos cilindros que conectan los codos con una superficie que sirva de apoyo.

Para poderlos insertar en el modelo, es necesario entrar en el grupo “Support” y clicar en “Trunnion” (arriba a la izquierda), una vez pinchado, se abrirá una nueva ventana para configurar el trunnion

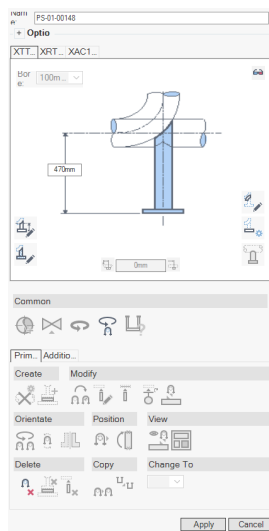


Imagen 84: ventana para configuración de Trunnion en AVEVA E3D Desing

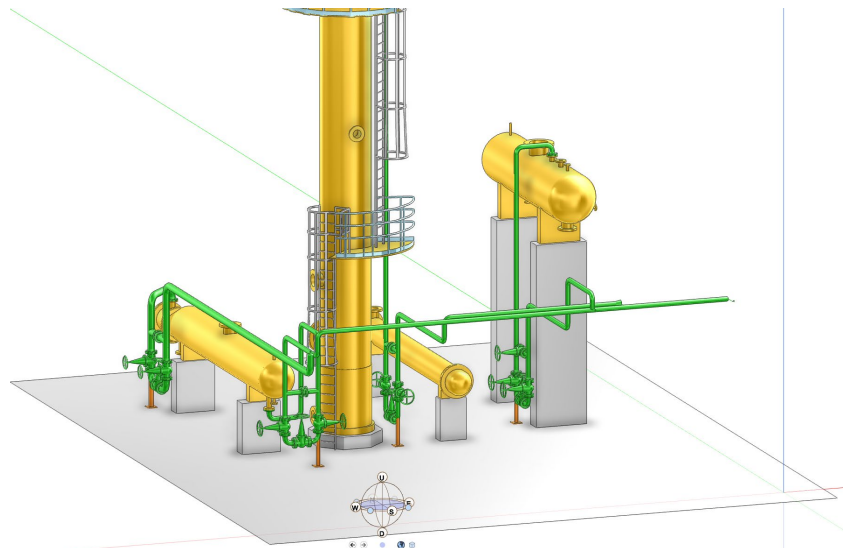


Imagen 85: captura de las 4 líneas junto a los equipos donde conectan

7. Modificaciones del proyecto inicial

Durante el modelado y cálculo del proyecto, se han encontrado un par de puntos donde es necesario intervenir.

La primera de las modificaciones se debe a la unión entre los pilares y el dintel. Esto se ve en el apartado "5. Planos del rack y soportes. Estructuras metálicas" imagen 10, anejo "Datos de partida". En esta imagen se muestra como la viga apoya sobre los pilares, creando así unos apoyos complejos. Para mejorar el apoyo y comportamiento de los pórticos, se ha cambiado el diseño para crear dos empotramientos, subiendo los pilares y soldando la viga entre ellos.

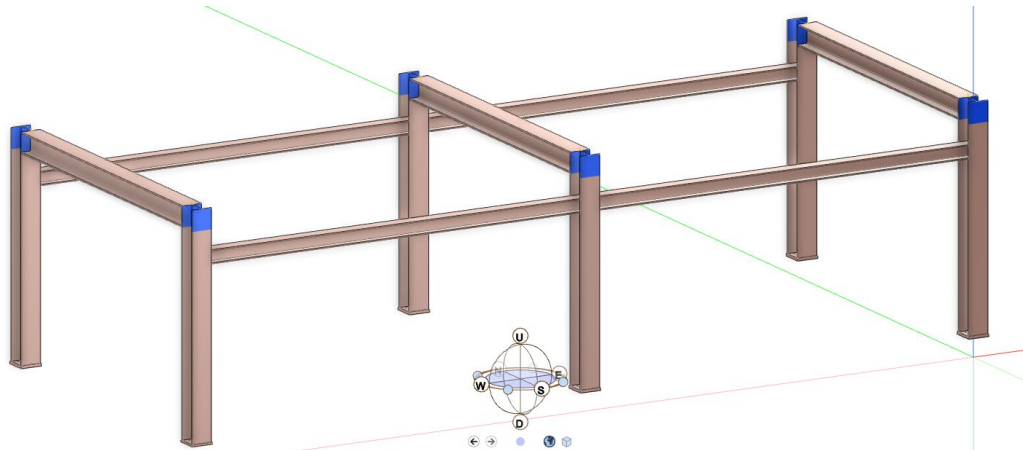


Imagen 86: Rack principal con la modificación de los apoyos de la viga en azul.

El otro punto donde es necesario intervenir, se encuentra gracias al cálculo y verificación realizado en CaePipe. En el apartado "14. Verificación bombas P-101 A & P-101 B" del anejo "Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe" se comprueba, que para que las bombas pudiesen cumplir la normativa API-610, era necesario reforzar la línea de succión 6-C30-10" con dos apoyos previos a la conexión con las bombas.

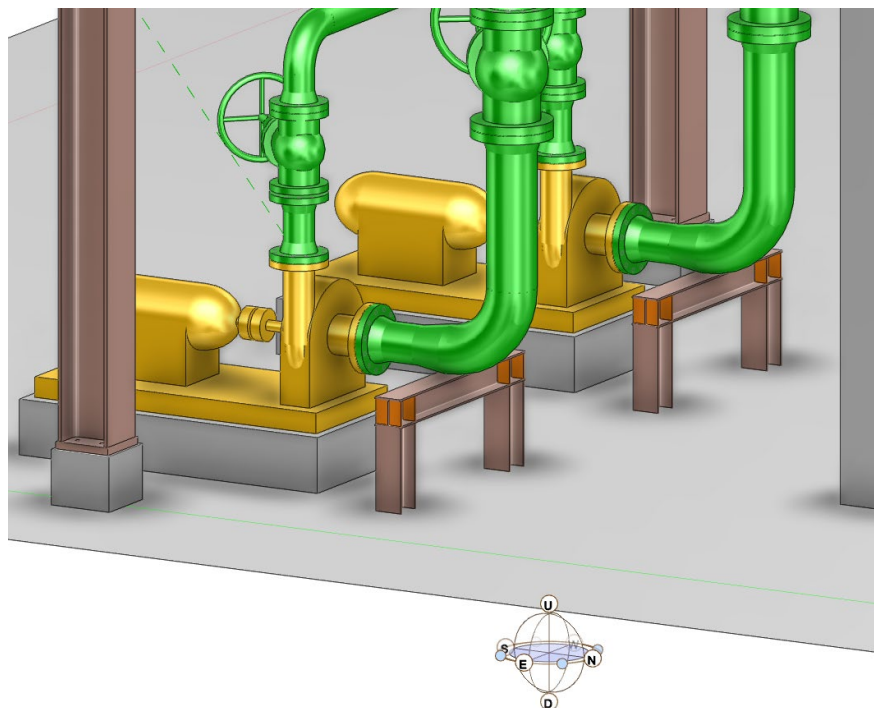


Imagen 87: soportes creados a en la línea de succión de las bombas P-101 A y P-101 B



8. Visualización del modelo

El modelo se ha realizado en el programa AVEVA Everything 3D, pero este programa al ser colaborativo y trabajar en la nube, es muy complicado visualizar modelos si no se está trabajando en ellos.

AVEVA Everything 3D es un programa de modelado de proyectos en BIM. Este formato alberga toda la información de cada elemento del modelo (posición global de cada elemento, identificación del elemento, tamaño, grupo al que pertenece o condiciones de trabajo para el elemento).

Para poder mantener toda esta información, los archivos se transmiten en formato .IFC.

Pero tenemos el problema de que nuestra versión del programa tiene limitaciones con la parte de administración, que es la encargada de exportar los archivos, se va a exportar el modelo en formato “.RVM” (formato creado por el grupo AVEVA para su programa PDMS) que podremos abrir con Autodesk Navisworks.

En Navisworks podremos visualizar el modelo con los valores propios de cada elemento, variando la presión y temperatura de trabajo con la marcada.

Gracias al visualizador de la familia de Autodesk, podemos recorrer el modelo como si fuésemos un empleado más y seleccionar cualquier elemento del modelo para que nos de la información (en formato PDM) introducida desde AVEVA Everything 3D.

Para poder mantener toda esta información, es necesario exportar un archivo “.RVM” con el modelo en 3D y otro archivo .ATT con todos los atributos del modelo. Al abrirlos en Navisworks, se fusionan y aparece la información de cada elemento como atributo PDMS.

El archivo con la digitalización del proyecto se encuentra en la carpeta “Digitalizaciones”.

En esta carpeta encontraremos, en primer lugar el archivo DEPROPANIZADORA.RVM obtenido directamente del programa AVEVA Everything 3D, junto con un block de notas que incluye los atributos.

En segundo lugar un archivo .OBJ para poderse abrir desde cualquier visualizador 3D.

Y por último, el archivo de Navisworks donde al abrirse encontraremos el modelo con los atributos de cada elemento en PDMS.

Si no se encontrase la carpeta o se esté leyendo el documento únicamente en papel, pueden solicitarme las digitalizaciones y restos de archivos al correo crj@usal.es

8.1. Visualización del modelo en Realidad Aumentada (AR)

Gracias al avance constante de la tecnología y nueva creación de herramientas, he encontrado una aplicación para móviles y ordenadores donde poder visualizar el modelo en realidad aumentada.

La aplicación “Augin” nos permite visualizar el modelo y recorrerlo de diferentes formas desde en nuestro dispositivo, para después darnos la opción de poderlo visualizar a través de la cámara del móvil o Tablet en el terreno que decidamos, y probar el modelo en escala real y ahora sí, poderlo recorrer de la forma más realista hasta el momento.

Por el momento solo funciona en los dispositivos móviles más potentes del mercado. La aplicación aun es una beta y no cuenta con todas sus funciones.

Para acceder al modelo en la aplicación se puede seguir el siguiente enlace o se puede escanear el código QR que hay a continuación.



augin.app: crj depropanizadora_1
izadora_11



augin.app: tfg_carlos

Imagen 88: códigos QR para acceder al modelo de la Depropanizadora en AUGIN

Acto seguido será necesario descargar la aplicación desde el Apple Store o Android Market, registrarnos en ella mediante un correo y aceptar todos los permisos que nos piden. Luego comenzará a cargar el modelo (la carga se demorará mucho tiempo, paciencia, sobre todo en el 67%, si el dispositivo no es compatible o no tiene suficiente capacidad de procesamiento, la aplicación saldrá del modelo y dará un aviso).

Cuando ya se accede al modelo desde la aplicación, se puede recorrer mediante un dron o andando en la pestaña “Ver” o se visualizar en Realidad aumentada, pinchando en la opción AR (abajo a la derecha).



Imagen 89: captura de una visualización en Realidad Aumentada en Augin



9. Obtención de planos

En el programa AVEVA Everything 3D, uno de sus módulos es el "Draw", donde poder crear planos a partir de los objetos modelados en el módulo "Model".

Al abrir este módulo, se despliega un árbol muy grande dividido en muchos espacios de trabajo, esto es para poder trabajar diferentes diseñadores a la vez. Nosotros nos encontramos con el problema de que nuestra versión tiene, muchas partes restringidas y esta es una de ellas. El problema que tenemos es que no podemos crear nuestro espacio de trabajo ni enlazar fácilmente los objetos modelados con sus planos.

Por ello, tenemos que abrir un plano ya creado y lo utilizamos de plantilla. Luego borramos las zonas que hay y creamos una región de trabajo del tamaño de nuestro papel (A4 o A3). Creamos un diseño y llamamos a los accesorios o elementos que queremos que aparezcan desde el explorador del modelo. Ajustamos la escala y realizamos las proyecciones. Luego se elige el tipo de representación, pudiendo elegir entre "a una línea" o "en 3D". ahora que ya tenemos las vistas del objeto, exportamos el modelo a AutoCAD, donde poder acotarlo y recogerlo en un plano correcto y fácil de manipular, ya que en el módulo "Draw" de AVEVA Everything 3D esta super limitado y muy delicado, ya que se cae constantemente.

Los planos se pueden encontrar en el anejo "Planos", y su orden es:

- Planos estructuras:
 - o Plano_ESTR_01 → Estructura rack
 - o Plano_ESTR_02 → Soporte corto W
 - o Plano_ESTR_03 → Soporte largo Ñ
 - o Plano_ESTR_04 → Trunnions y soportes bombas
 - o Plano_ESTR_01 → Cimientos y bancadas de la unidad depropanizadora

- Planos tuberías:
 - o Plano_TUBE_01 → Línea 1-C30-8"
 - o Plano_TUBE_02 → Línea 2-C30-10"
 - o Plano_TUBE_03 → Línea 3-C30-12"
 - o Plano_TUBE_04 → Línea 4-C30-10"
 - o Plano_TUBE_05 → Línea 5-C30-8"
 - o Plano_TUBE_06 → Línea 6-C30-10"
 - o Plano_TUBE_07 → Línea 7-C30-X"
 - o Plano_TUBE_08 → Línea 9-C30-4"
 - o Plano_TUBE_09 → Línea 10-A15-6"
 - o Plano_TUBE_10 → Línea 11-A15-6"
 - o Plano_TUBE_11 → Línea 12-C30-4"
 - o Plano_TUBE_12 → Línea 13-A15-6"
 - o Plano_TUBE_13 → Línea 14-A15-6"
 - o Plano_TUBE_14 → Línea 15-A15-6"
 - o Plano_TUBE_15 → Línea 16-C30-2"
 - o Plano_TUBE_16 → Líneas sobre el rack
 - o Plano_TUBE_17 → Briddle #1
 - o Plano_TUBE_18 → Briddle #2



- Planos equipos:
 - Plano_EQUI_01 → Torre depropanizadora V-101
 - Plano_EQUI_02 → Intercambiador hervidor E-101
 - Plano_EQUI_03 → Intercambiador condensador E-102
 - Plano_EQUI_04 → Deposito acumulador V-101
 - Plano_EQUI_05 → Bombas P-101 A & P-101 B

- Planos cálculos:
 - Plano_CALC_01 → Pórticos del rack
 - Plano_CALC_02 → Viga transversal AB cálculo
 - Plano_CALC_03 → Viga transversal CD cálculo
 - Plano_CALC_04 → Pilar HI del rack
 - Plano_CALC_05 → Pilar MN del rack
 - Plano_CALC_06 → Pilar UV del rack
 - Plano_CALC_07 → Soporte corto W cálculo
 - Plano_CALC_08 → Soporte largo Ñ cálculo

7. Anejo: Datos de partida



7. Anejo "Datos de partida"

1.	Diagrama general de procesos.....	3
2.	Localización de las bancadas y cimientos	4
3.	Vista cenital de planta	6
4.	Planos de bancadas y cimentaciones.....	7
4.1.	Plano de bancada de la torre depropanizadora V-101	7
4.2.	Plano de bancada elevada de acumulador de reflujo V-102.....	7
4.3.	Plano de bancada elevada del intercambiador Reboiler E-101	8
4.4.	Plano de bancada del intercambiador condensador E-102.....	8
4.5.	Plano de bancada de las bombas P-101A y P-101B	9
5.	Planos del rack y los soportes. Estructuras metálicas.....	9
6.	Planos de los equipos	10
6.1.	Depropanizadora V-101	10
6.2.	Acumulador de Reflujo V-102.....	12
6.3.	Reboiler E-101	12
6.4.	Condensador E-102	13
6.5.	Bombas P-101A & P-101B.....	13
7.	Líneas	14
7.1.	Línea 1.....	14
7.2.	Líneas 2 y 3	14
7.3.	Línea 4.....	15
7.4.	Línea 5.....	15
7.5.	Línea 6.....	16
7.6.	Línea 7.....	16
7.6.1.	Branch 7-C30-6"	16
7.6.2.	Branch 7-C30-4"	17
7.7.	Línea 9.....	17
7.8.	Línea 10.....	18
7.9.	Línea 11.....	18
7.10.	Línea 12	19
7.11.	Línea 13	19
7.12.	Línea 14	20
7.13.	Línea 15	20
7.14.	Línea 16	21



7.15.	Bridle #1	21
7.16.	Bridle #2	22

1. Diagrama general de procesos.

esta imagen consiste en un diagrama general de todos los procesos que intervienen en la unidad y el sentido de las líneas, junto con las temperaturas y presiones de los procesos más importantes.

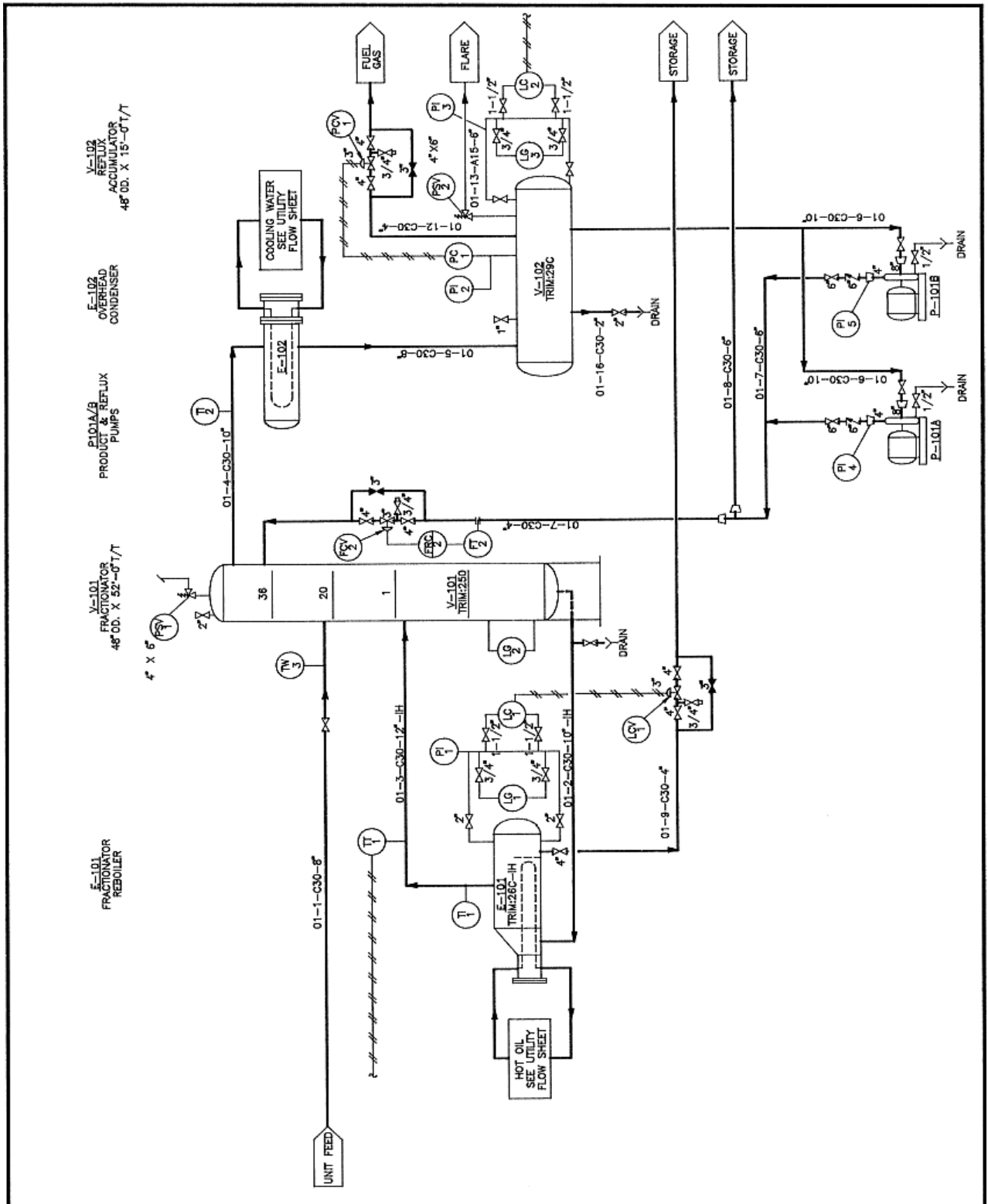


Imagen 1._ : diagrama general de procesos



2. Localización de las bancadas y cimientos

En este apartado se encuentran dos imagines que dan la información de la localización de las bancadas de los equipos de la unidad y los cimientos de las estructuras que sirven para sustentar las líneas de tuberías.

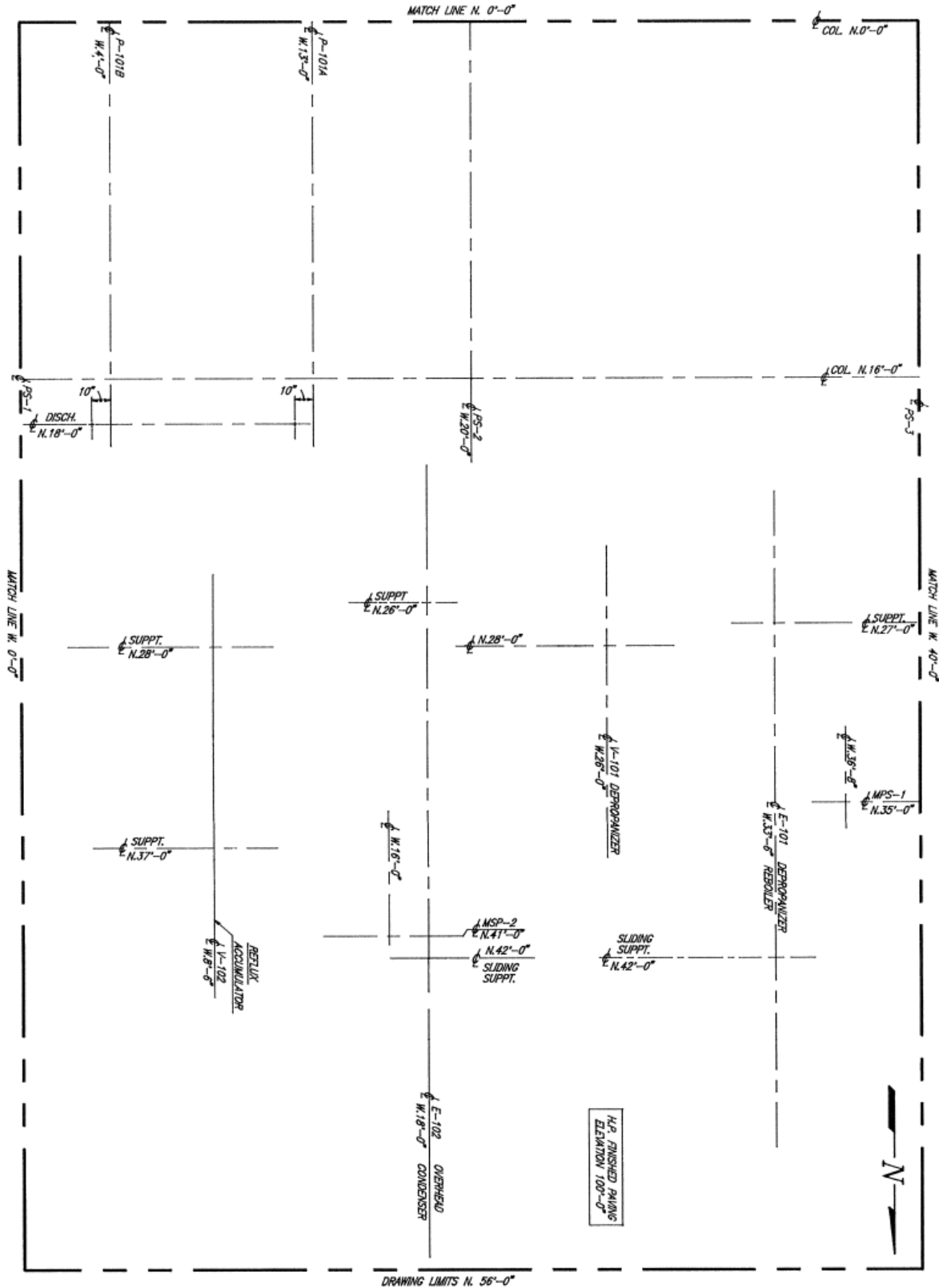


imagen 2: coordenadas de bancadas y cimientos

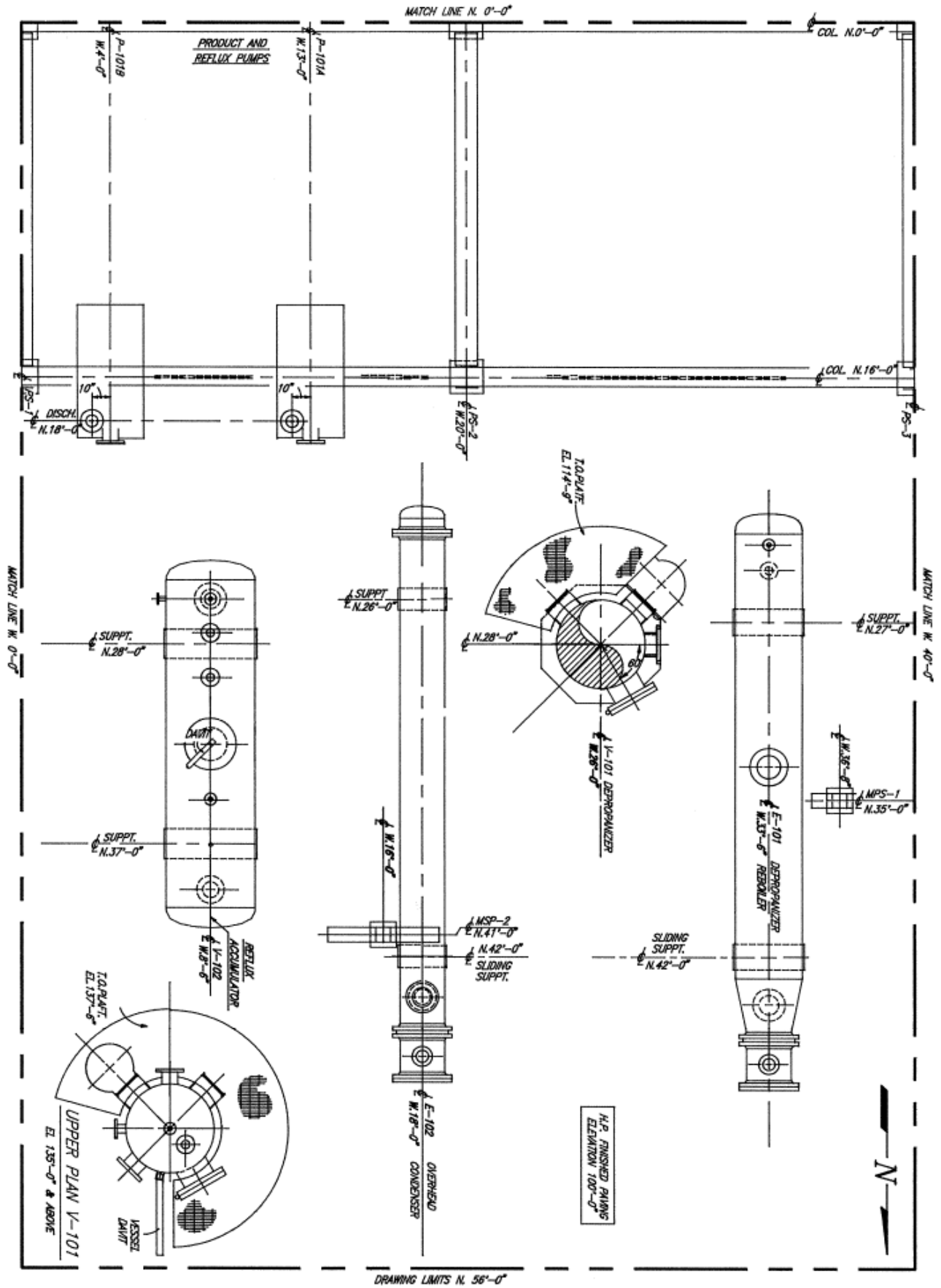


imagen 3: localización de los equipos y estructuras sobre sus cimientos

4. Planos de bancadas y cimentaciones

4.1. Plano de bancada de la torre depropanizadora V-101

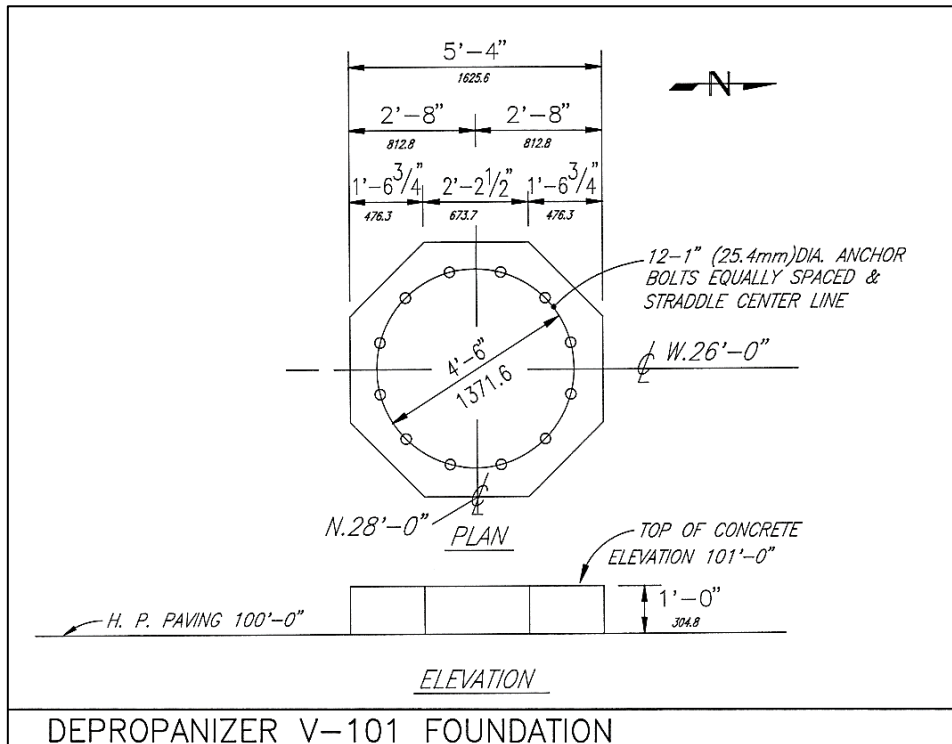


Imagen 5: bancada torre depropanizadora

4.2. Plano de bancada elevada de acumulador de reflujo V-102

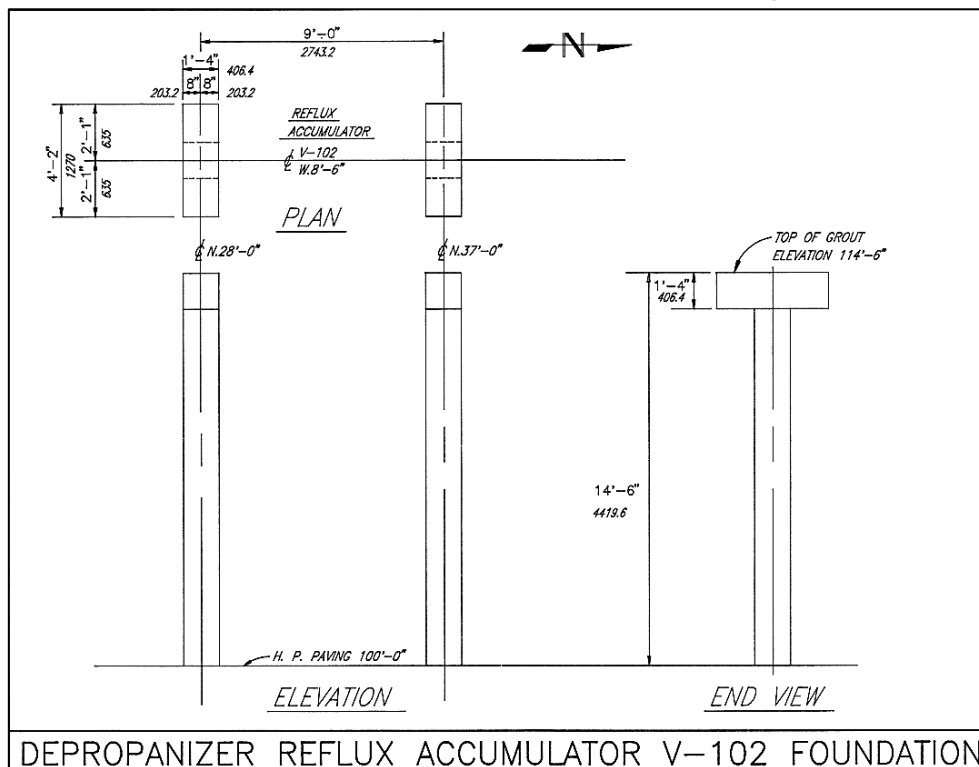


Imagen 6: bancada deposito V-102

4.3. Plano de bancada elevada del intercambiador Reboiler E-101

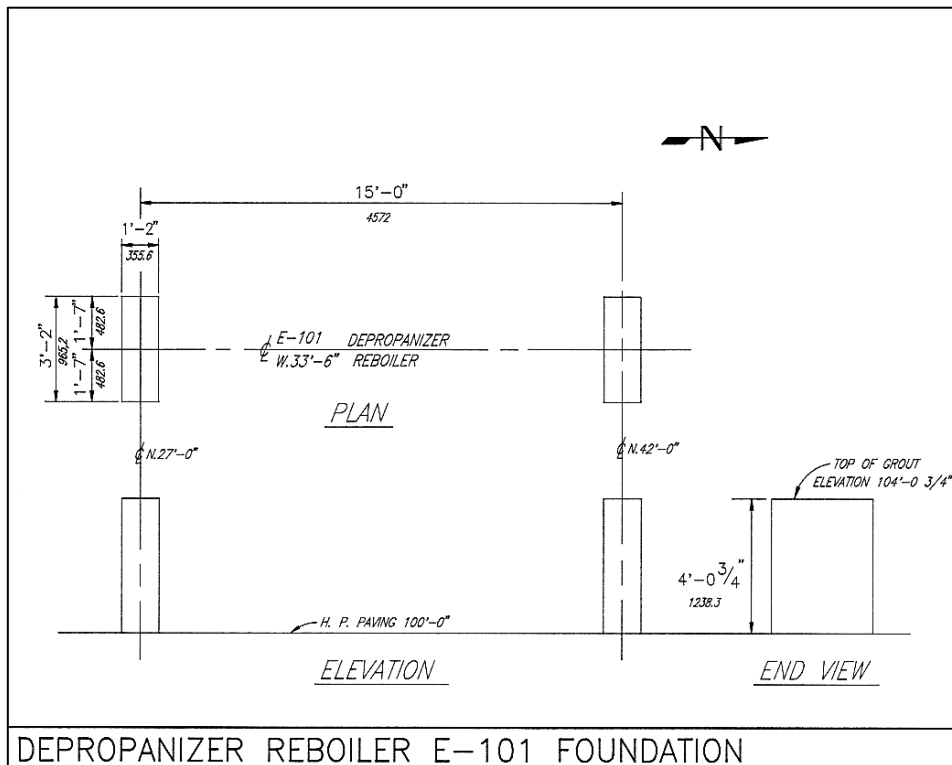


Imagen 7: bancada intercambiador E-101

4.4. Plano de bancada del intercambiador condensador E-102

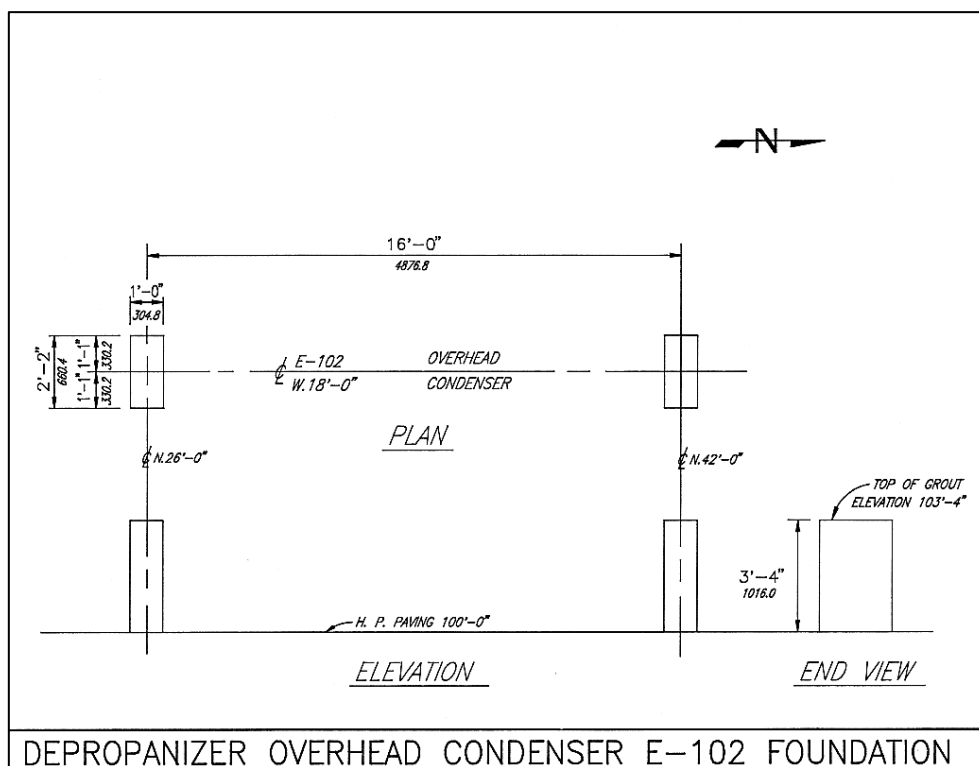


Imagen 8: bancada intercambiador E-102

4.5. Plano de bancada de las bombas P-101A y P-101B

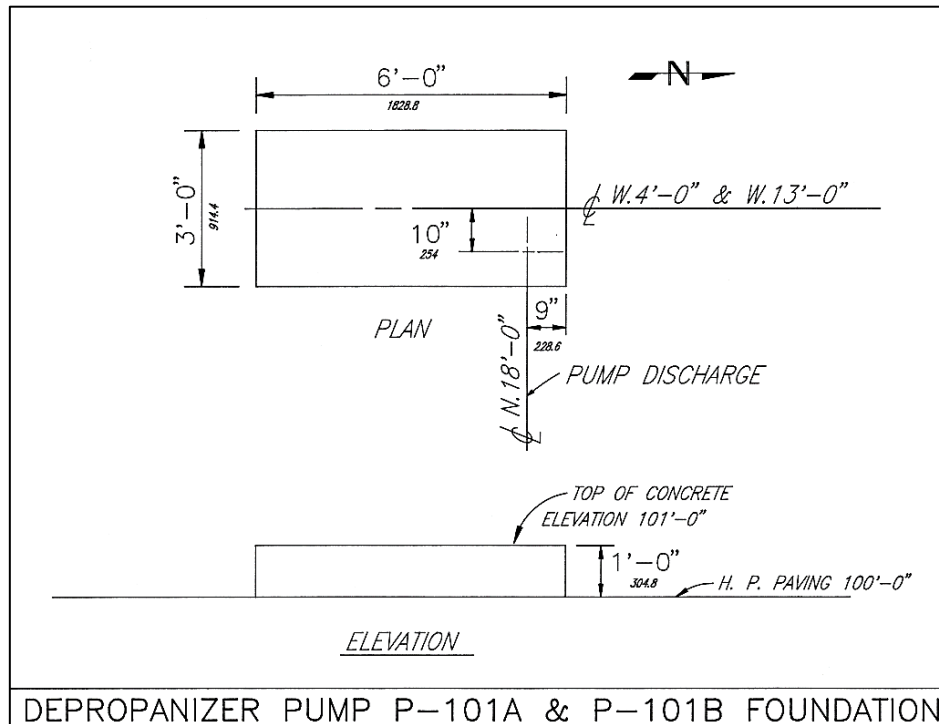


Imagen 9: bancada equipos rotativos

5. Planos del rack y los soportes. Estructuras metálicas.

En la siguiente imagen se encuentran los planos para el Pipe Rack y para los dos soportes que intervienen en la unidad. Junto con los cimientos de estas construcciones.

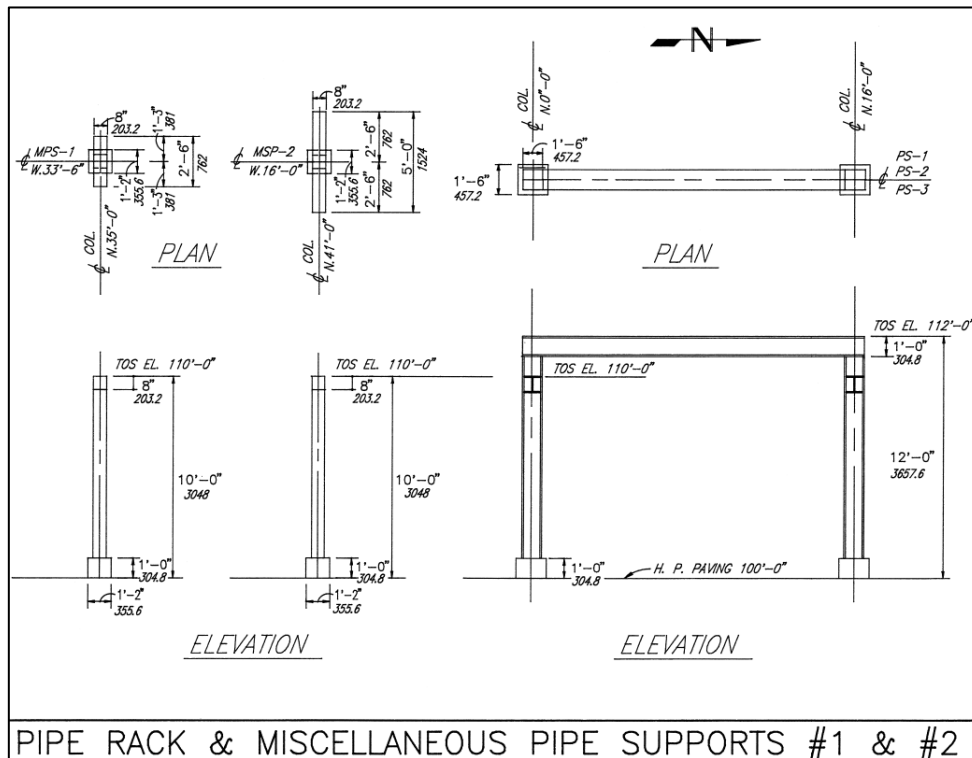


Imagen 10: plano de estructuras y sus cimientos

6. Planos de los equipos

6.1. Depropanizadora V-101

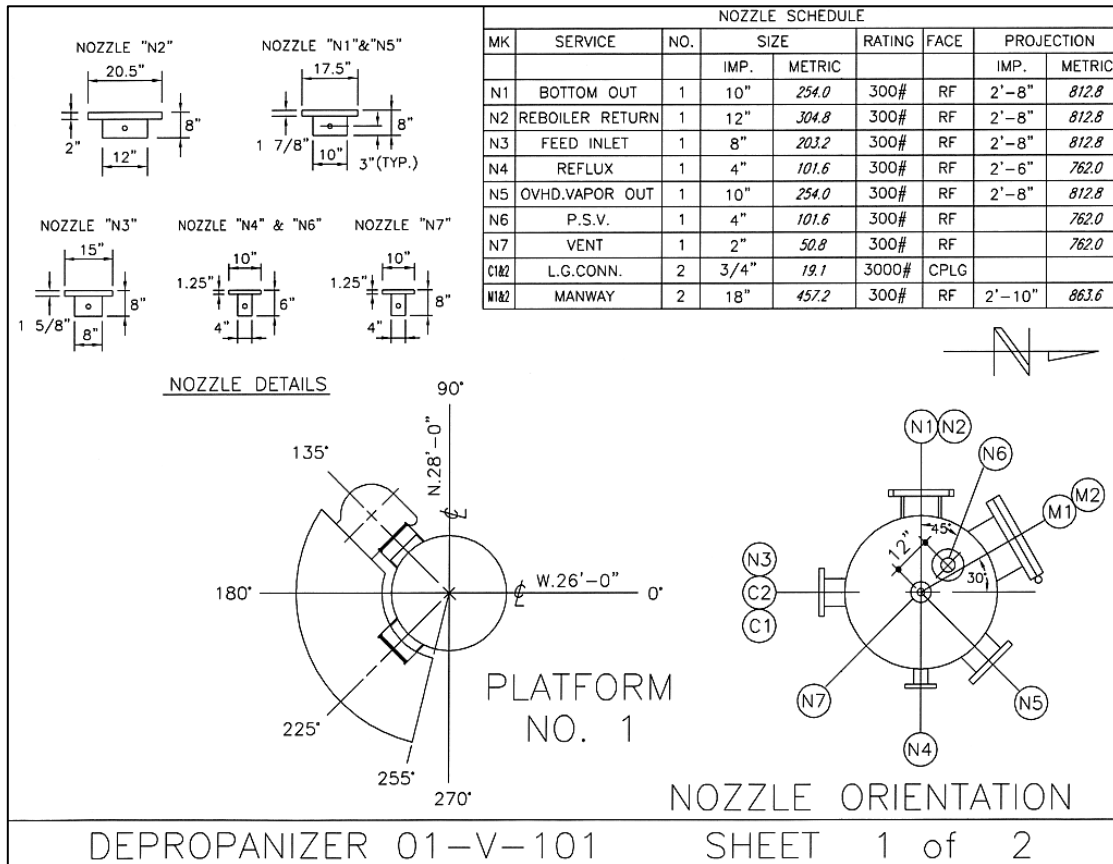


Imagen 11: plano de orientación de toberas y soportes de plataforma 1 de 2

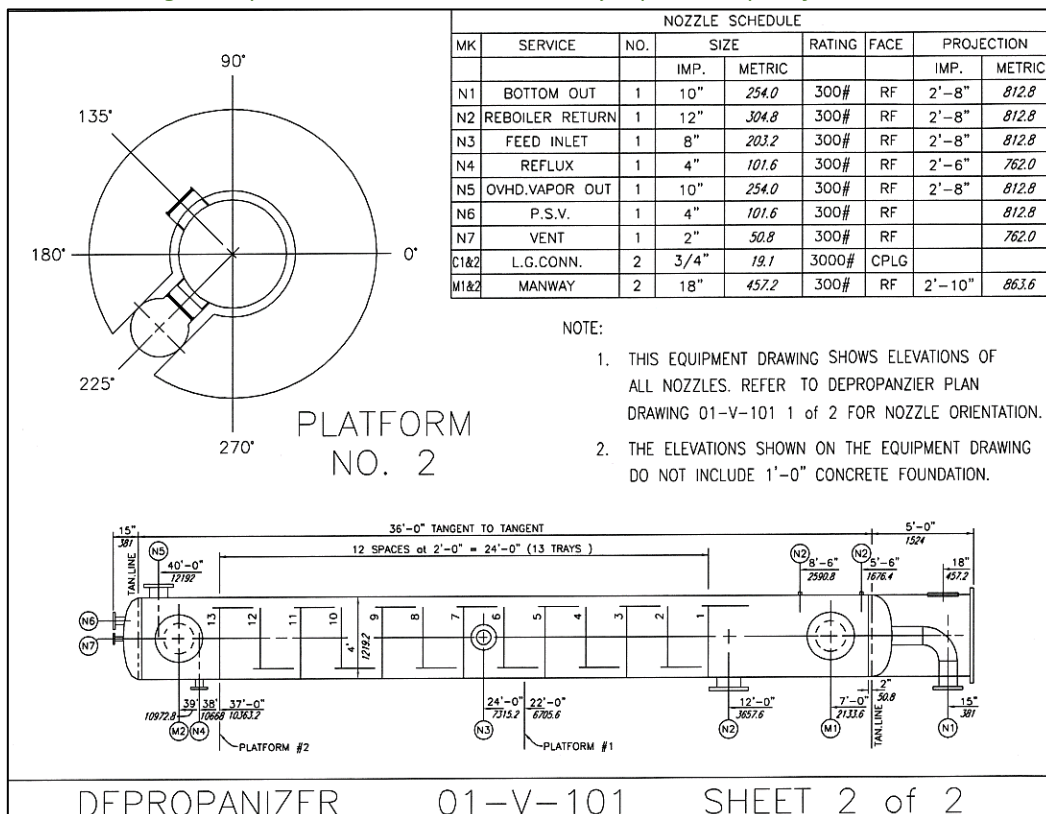


Imagen 12 : definición geométrica del depropanizador y plataforma 2 de 2.

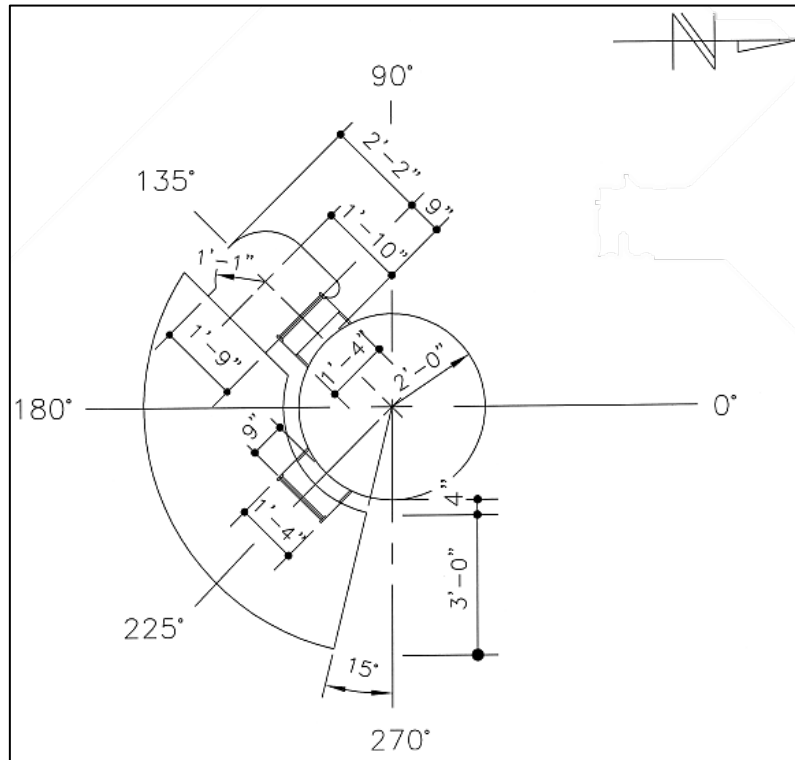


Imagen 13: plano plataforma baja. Plataforma 1

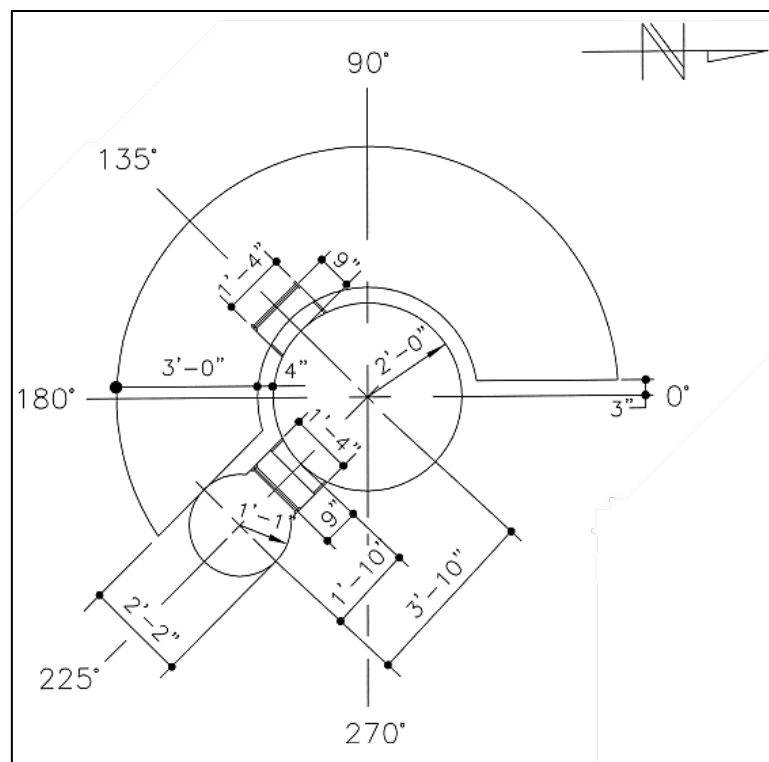


Imagen 14: plano plataforma alta. Plataforma 2

6.2. Acumulador de Reflujo V-102

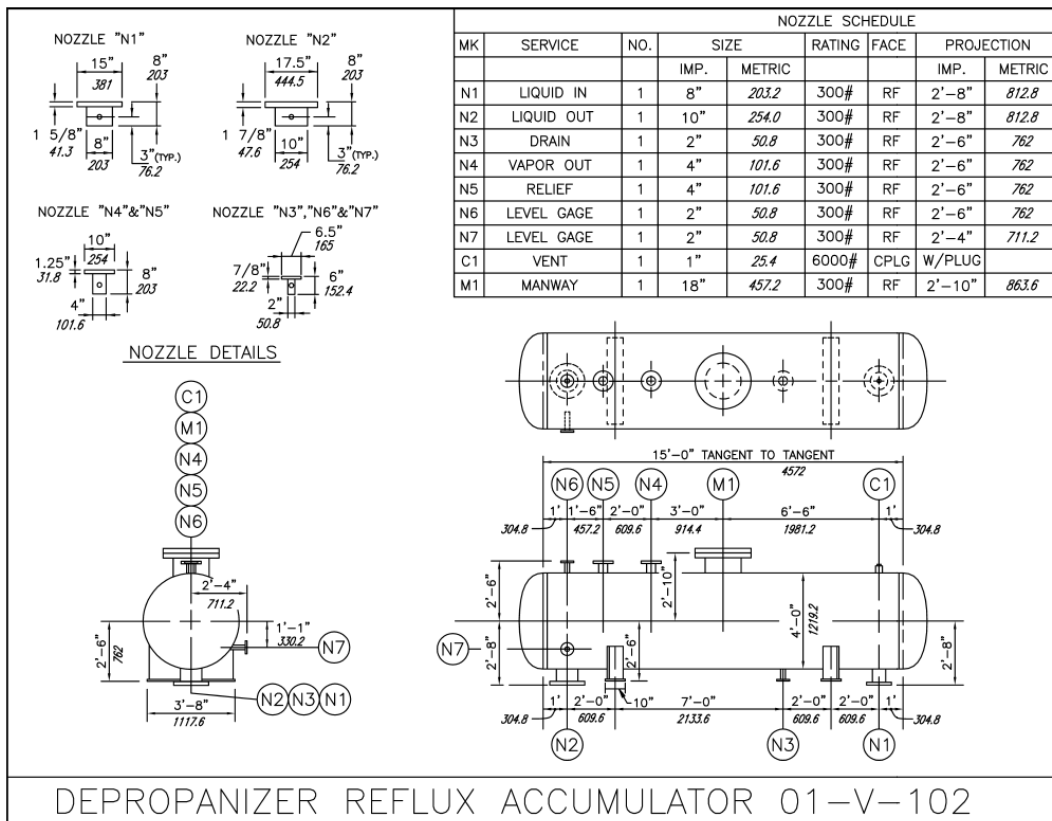


Imagen 15: plano deposito acumulador V-102

6.3. Reboiler E-101

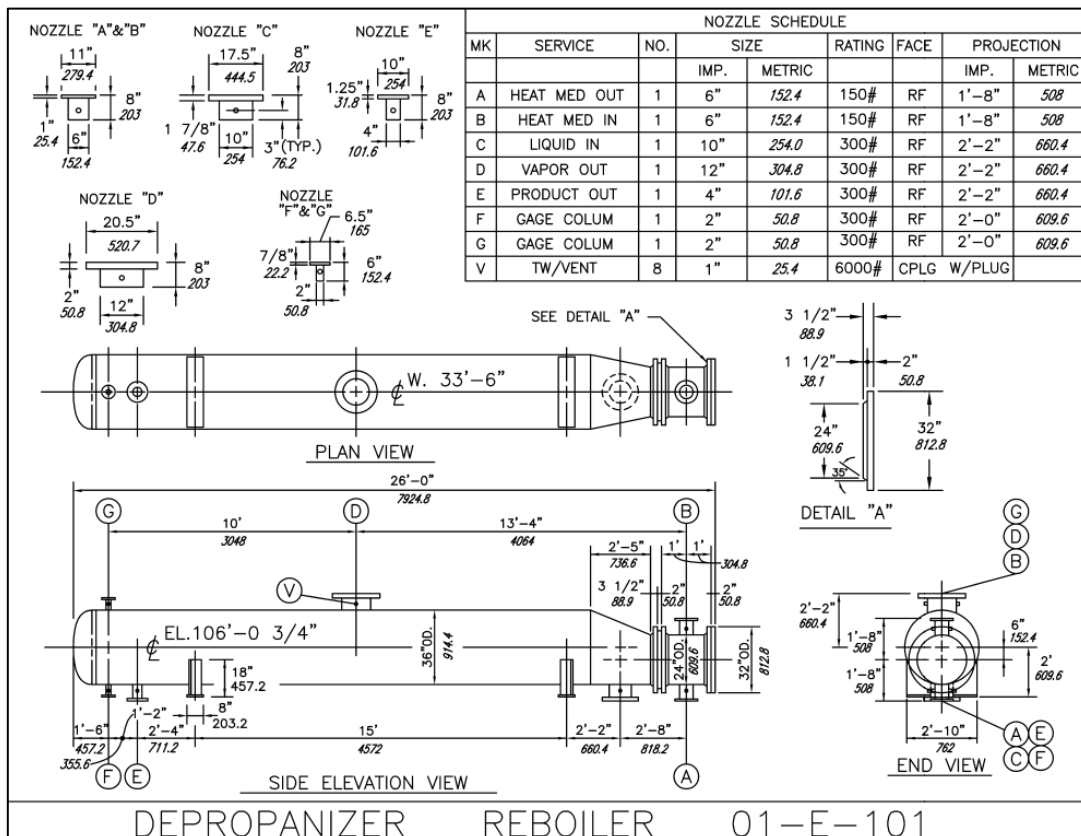


Imagen 16: plano intercambiador hervidor E-101

6.4. Condensador E-102

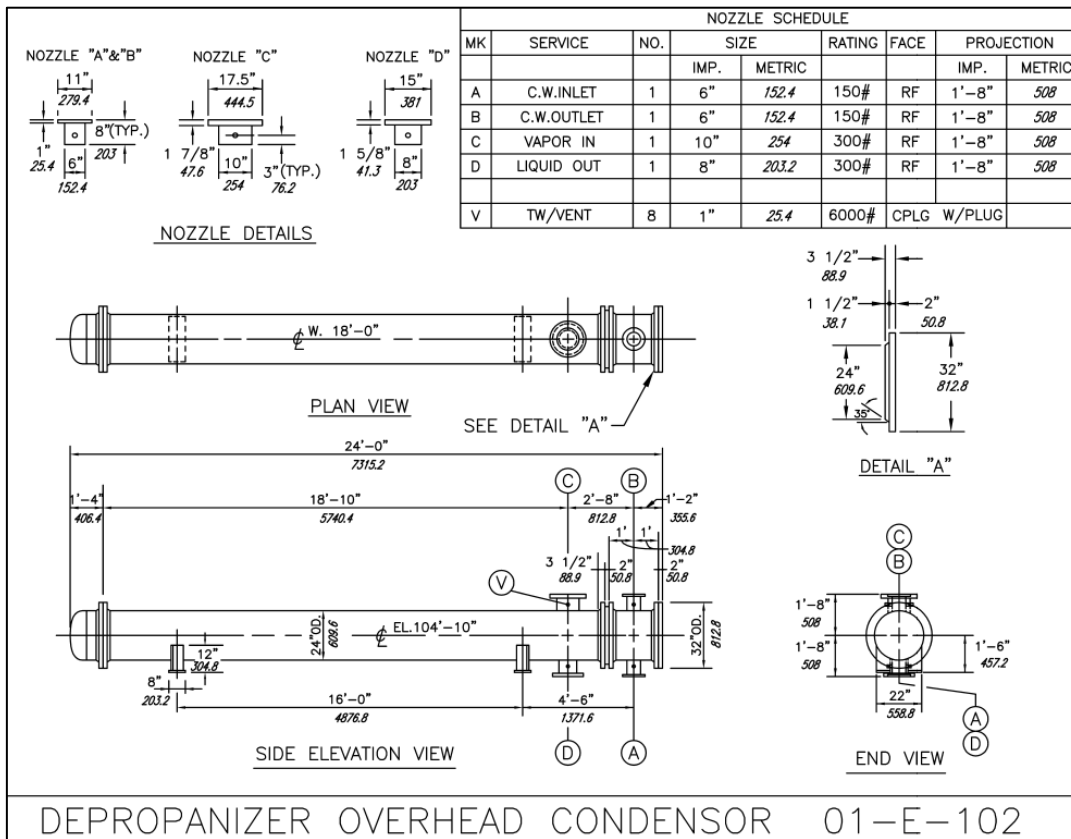


Imagen 17: plano intercambiador condensador E-102

6.5. Bombas P-101A & P-101B

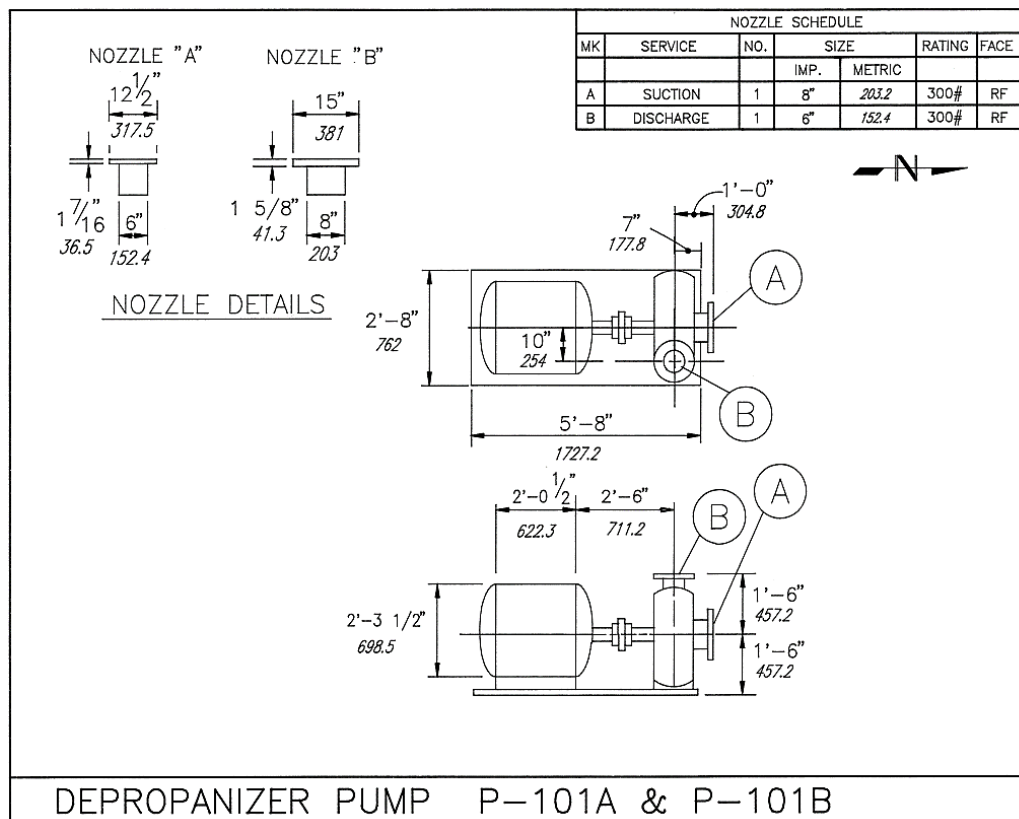


Imagen 18: plano equipos rotativos P-101A y P-101B

7. Líneas

7.1. Línea 1

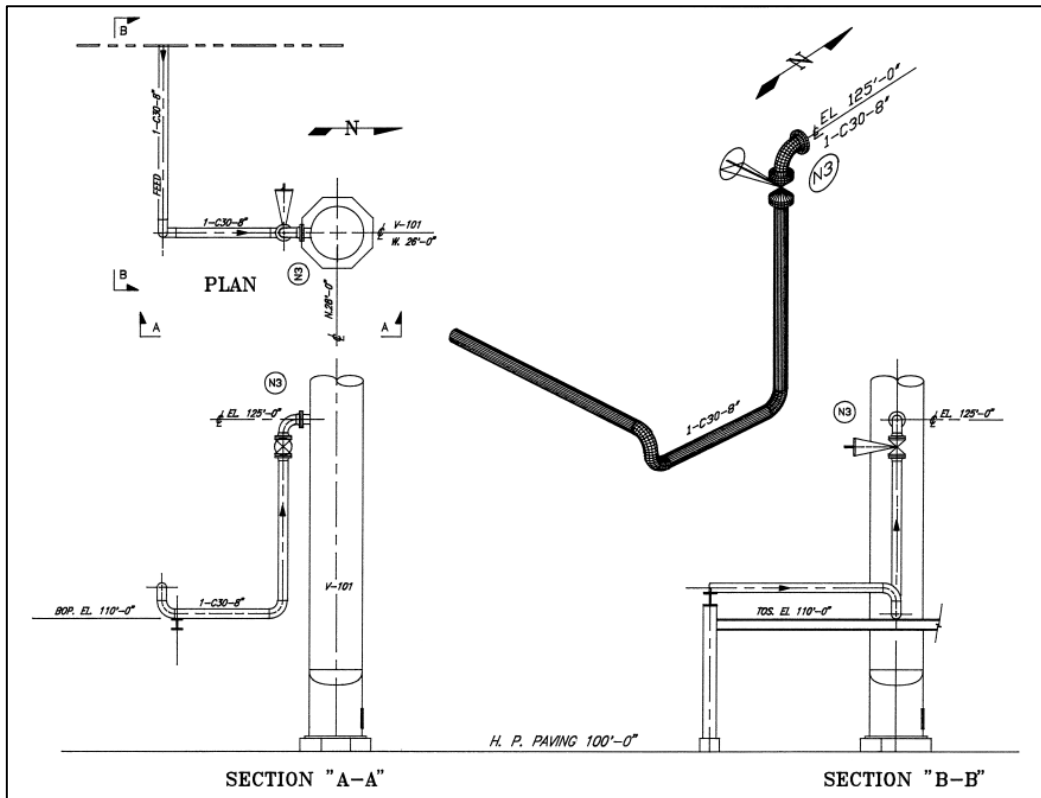


Imagen 19: línea 1-C30-8"

7.2. Líneas 2 y 3

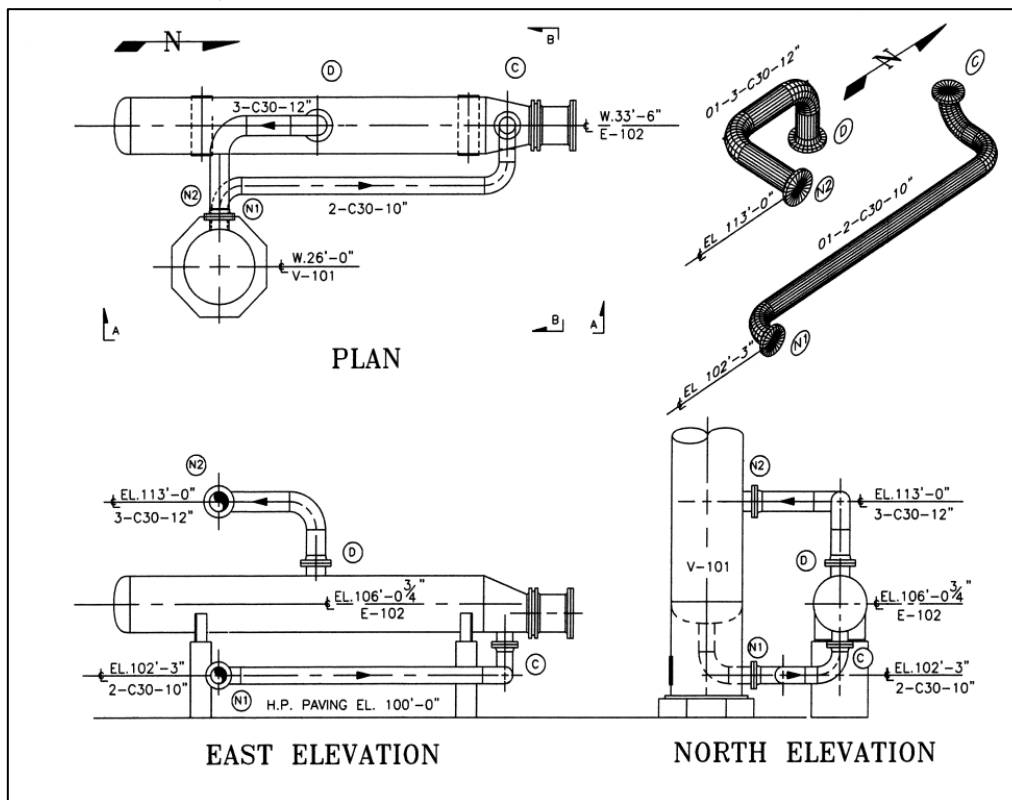


Imagen 20: líneas 2-C30-10" y 3-C-30-12"

7.3. Línea 4

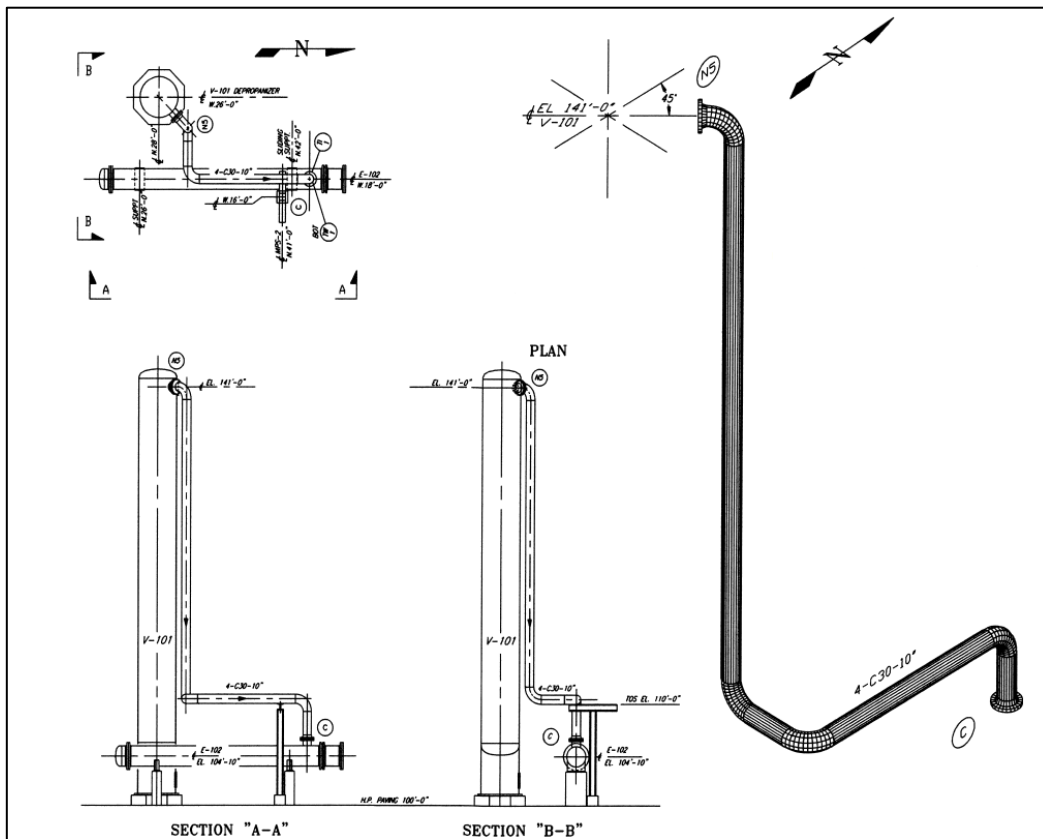


Imagen 21: línea 4-C30-10"

7.4. Línea 5

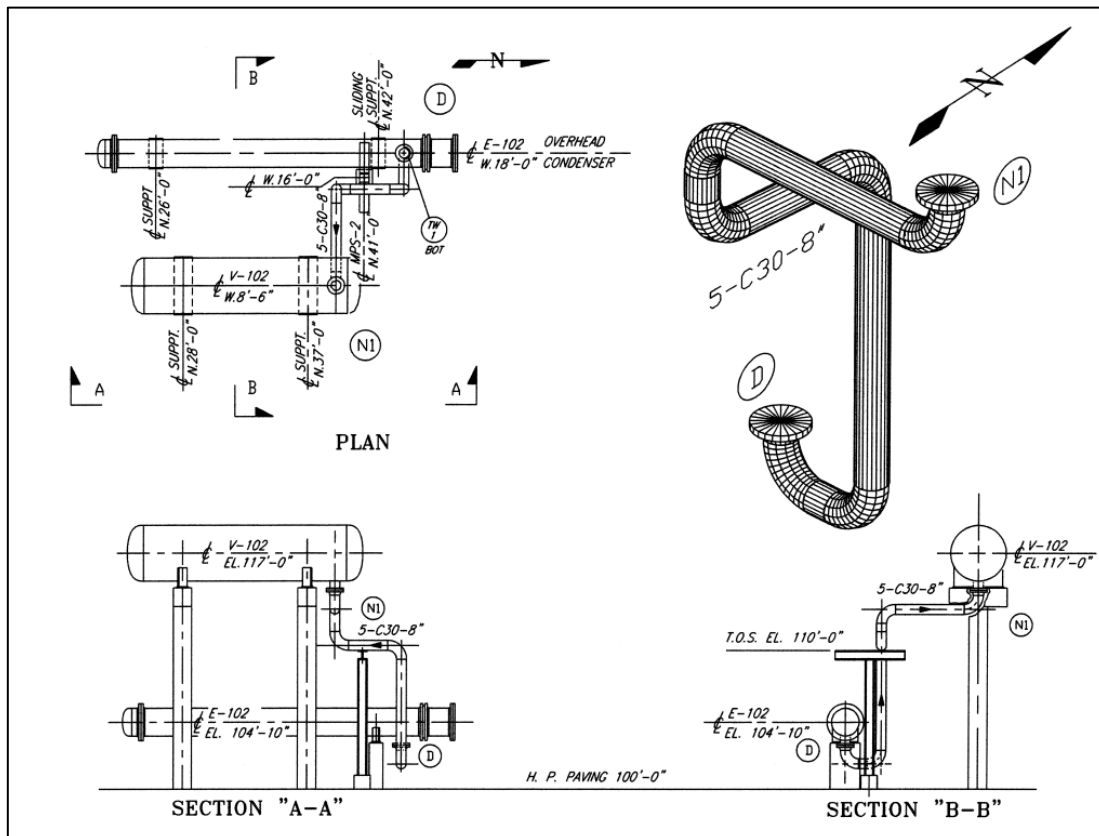


Imagen 22; línea 5-C30-8"

7.5. Línea 6

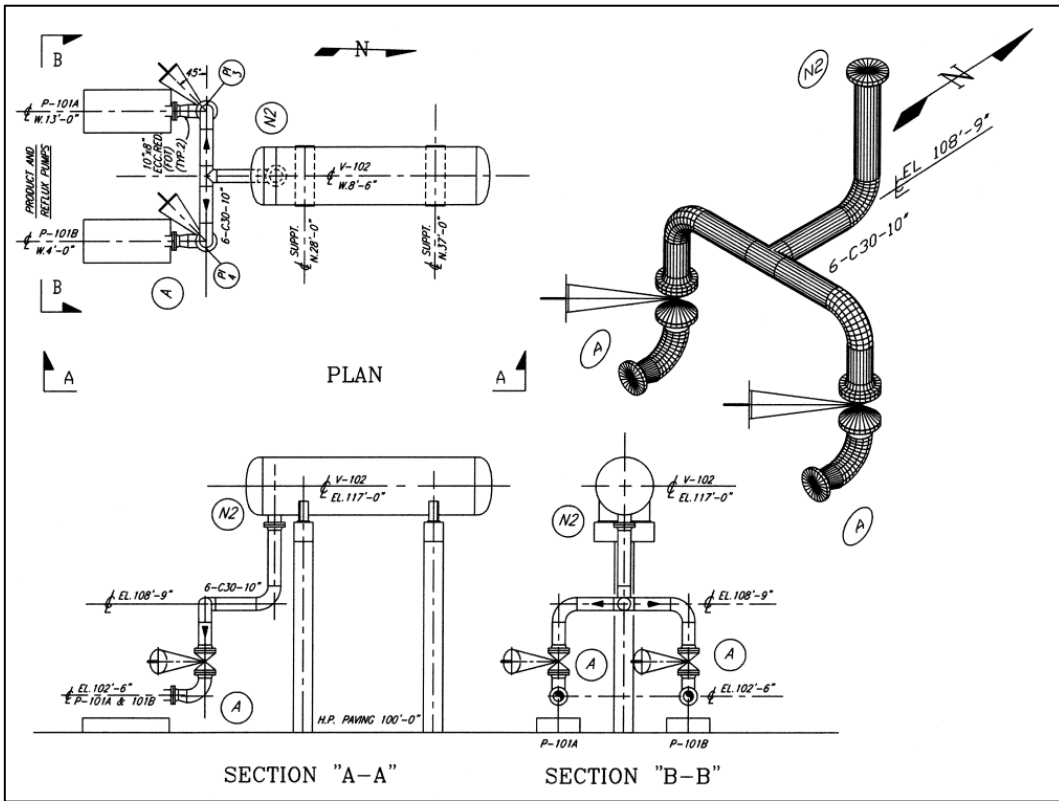


Imagen 23: línea 6-C30-9"

7.6. Línea 7

7.6.1. Branch 7-C30-6"

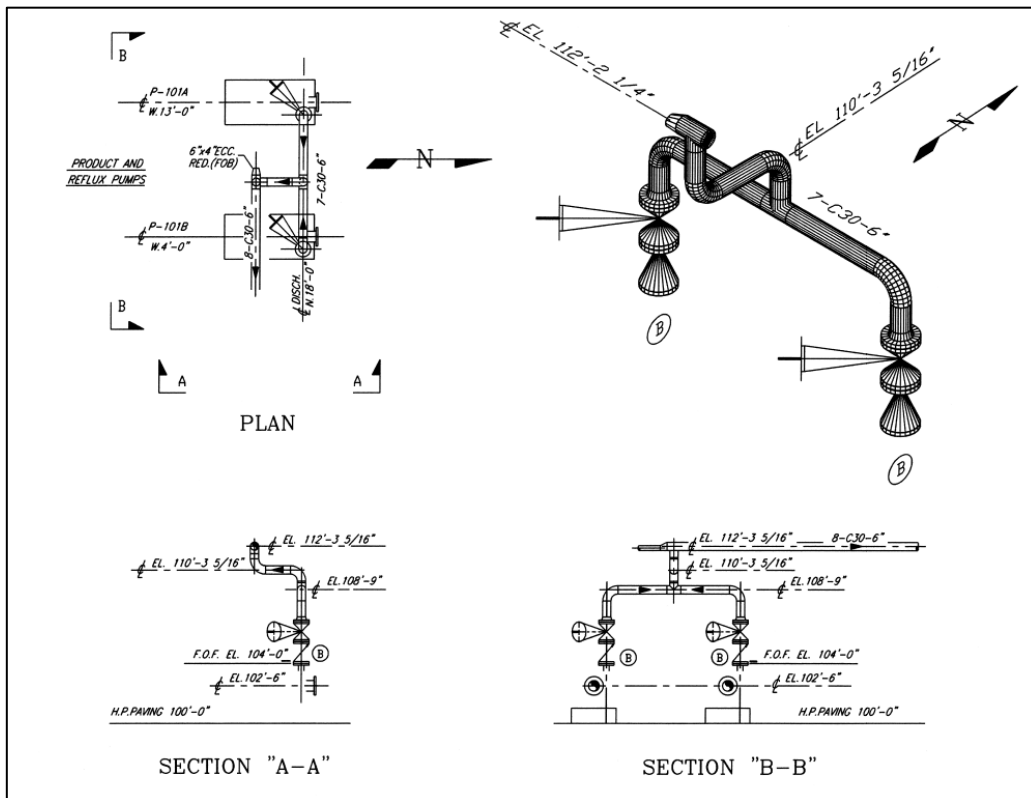


Imagen 24: línea 7-C30-6", parte 1ª de la línea. Parte de descarga bombas.

7.6.2. Branch 7-C30-4"

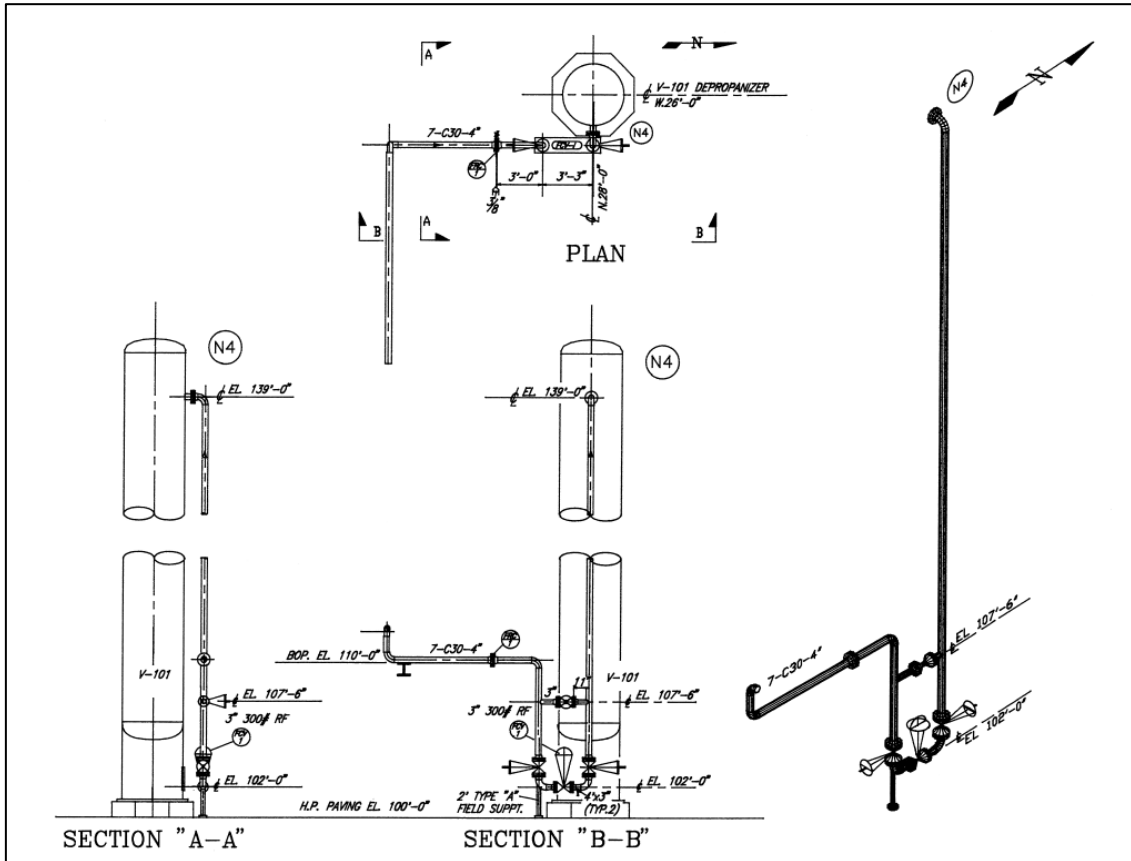


imagen 25: línea 7-C30-4" 2ª parte línea, parte descarga torre.

7.7. Línea 9

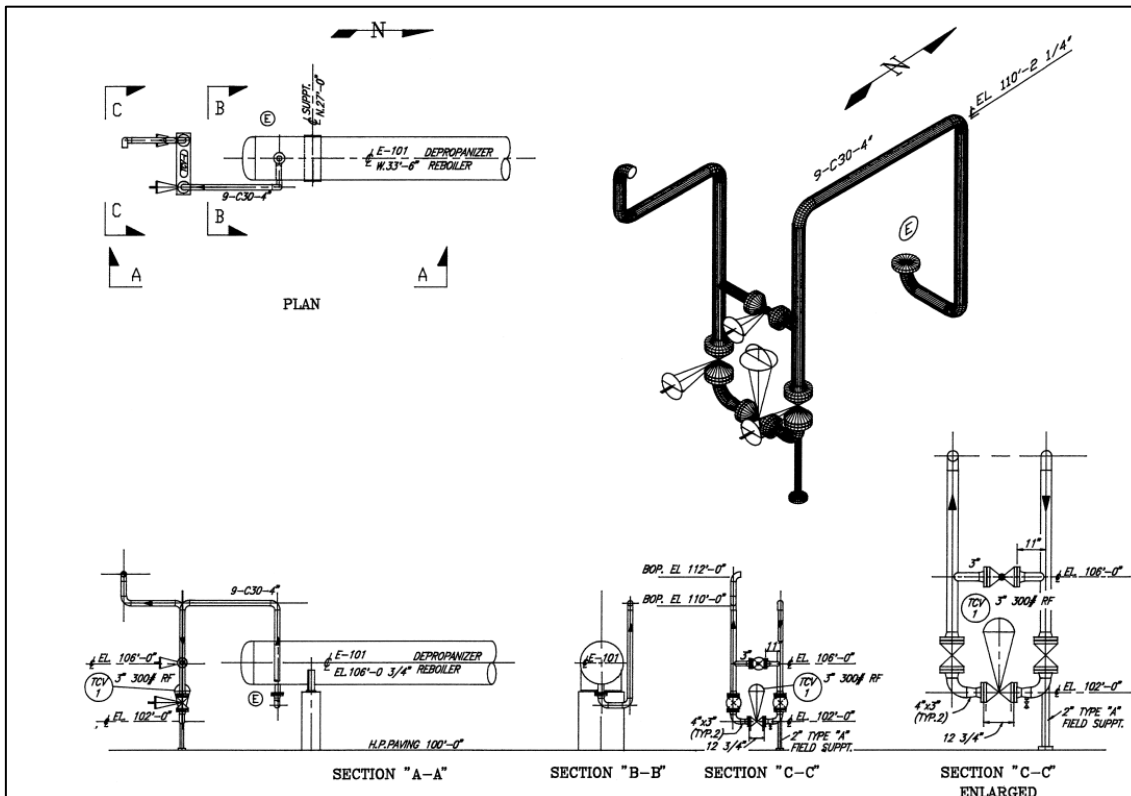


Imagen 26: línea 9-C30-4"

7.8. Línea 10

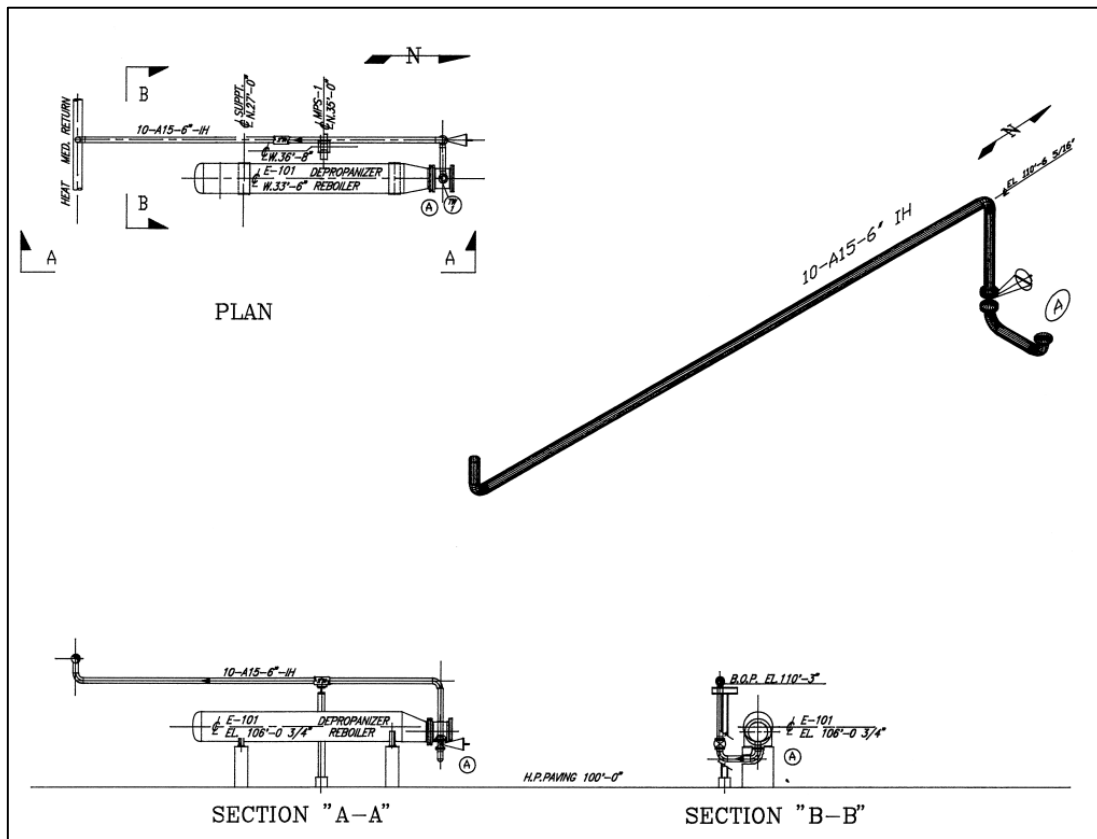


Imagen 27: línea 10-A15-6"

7.9. Línea 11

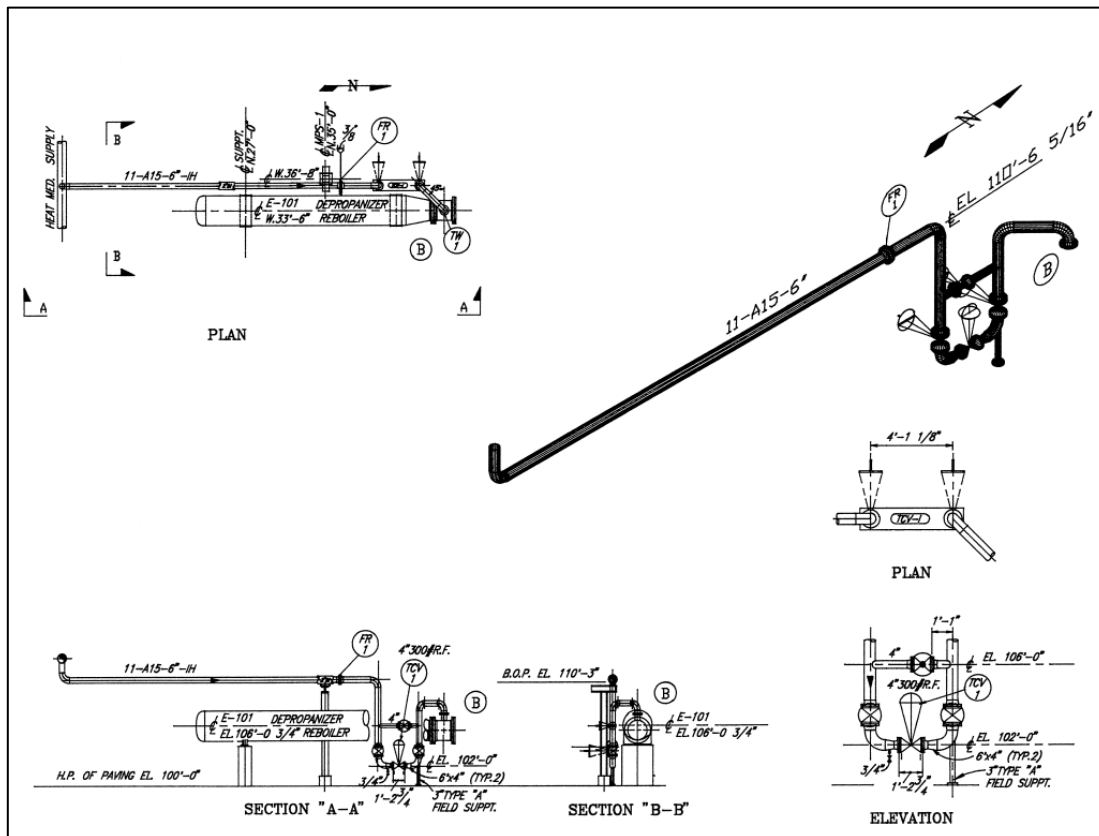


Imagen 28: línea 11-A15-6"

7.10. Línea 12

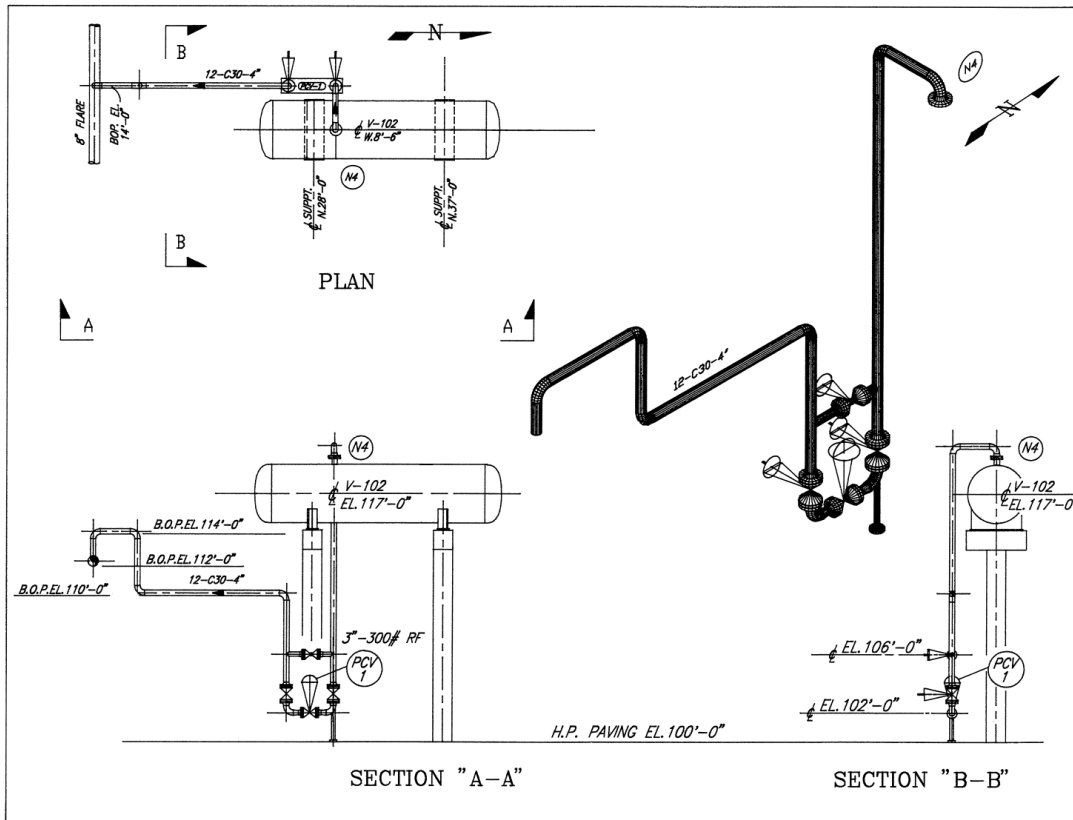


Imagen 29: línea 12-C30-4"

7.11. Línea 13

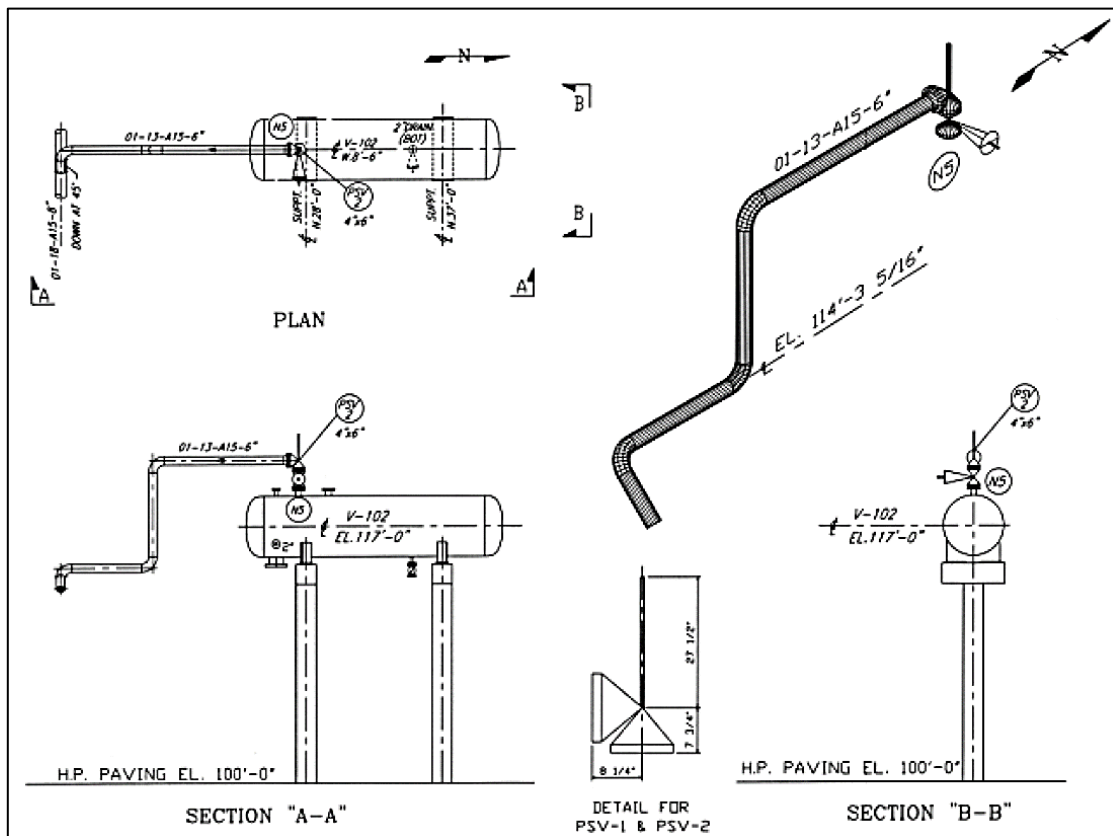


Imagen 30: línea 13-A15-6"

7.12. Línea 14

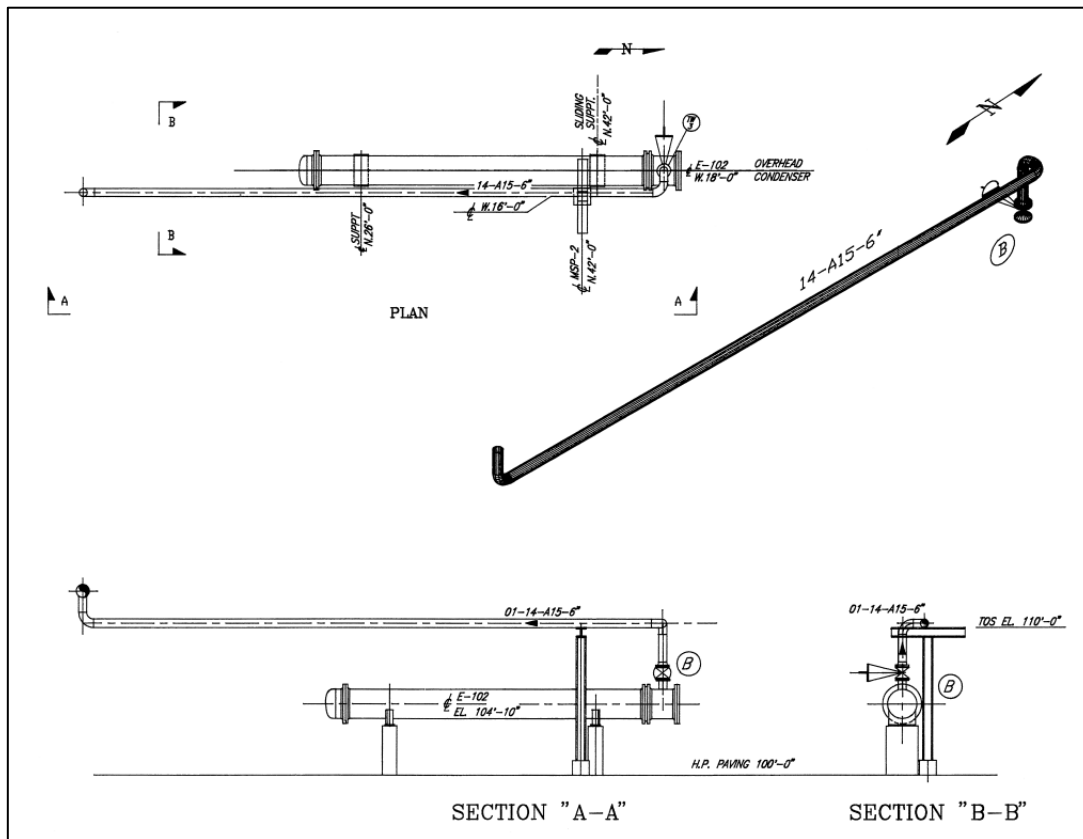


Imagen 31: línea 14-A15-6"

7.13. Línea 15

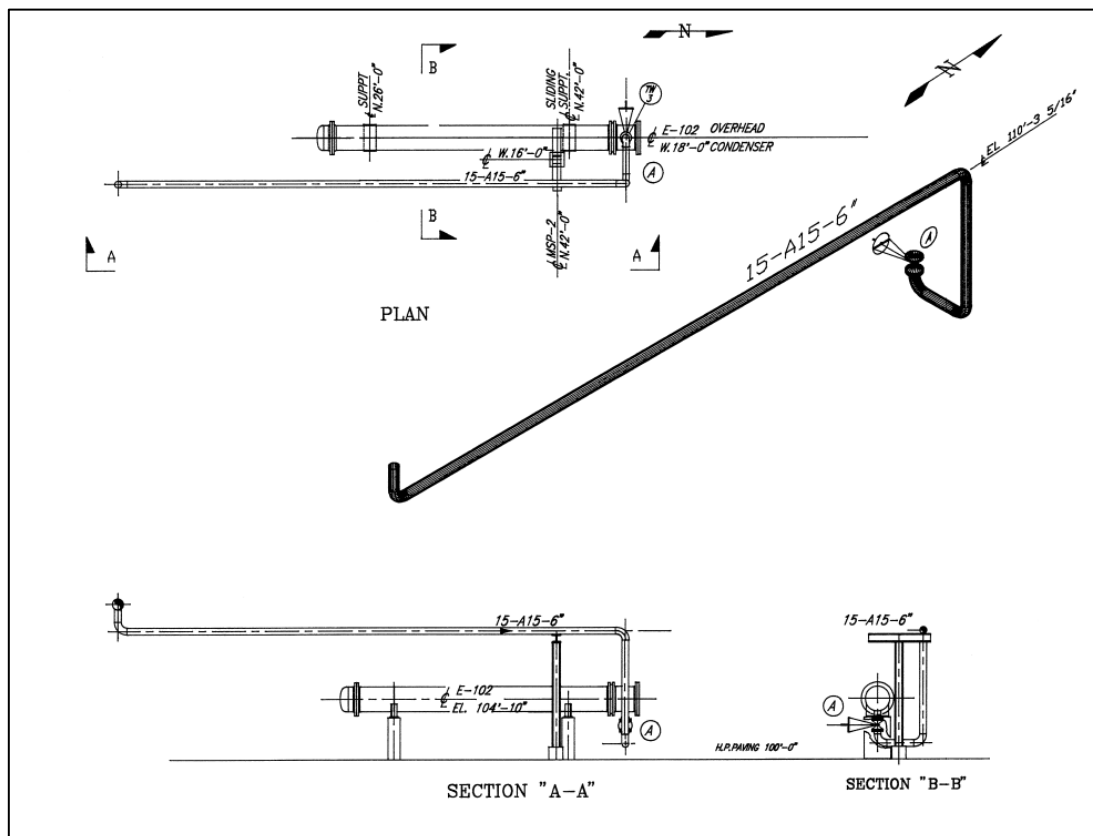


Imagen 32: línea 15-A15-6"

7.14. Línea 16

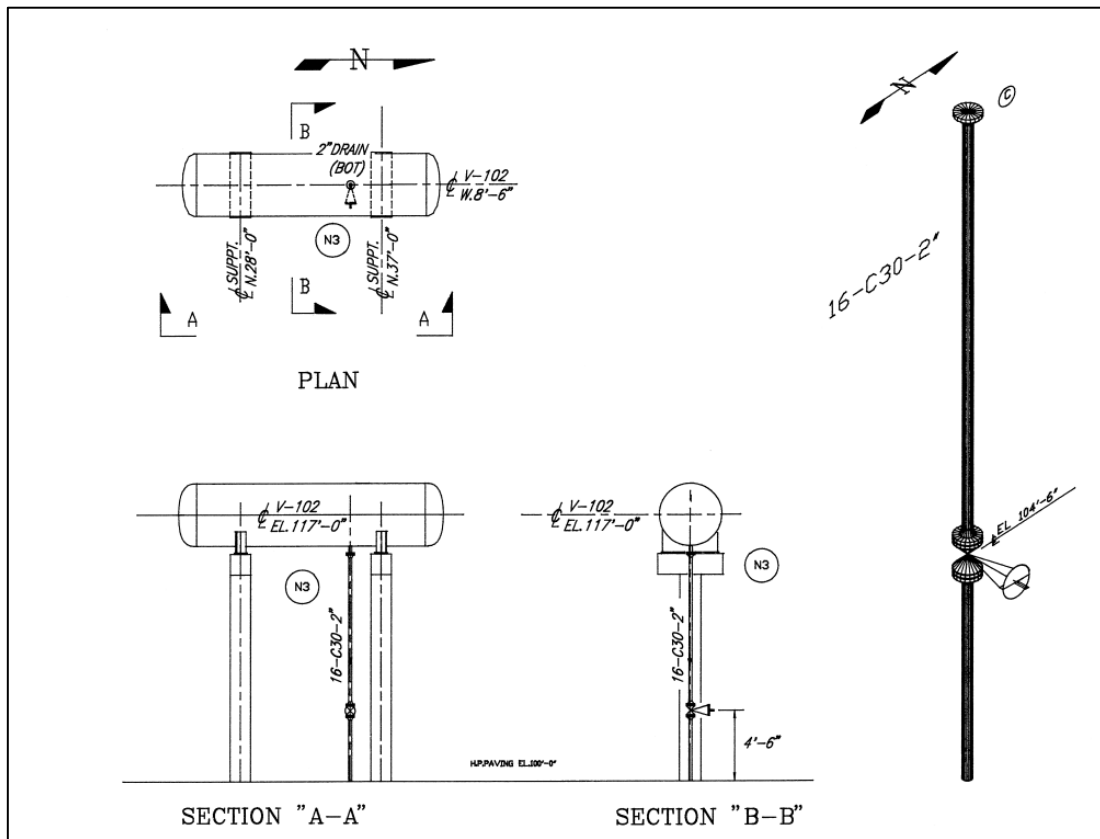


Imagen 33: línea 16-C30-2"

7.15. Briddle #1

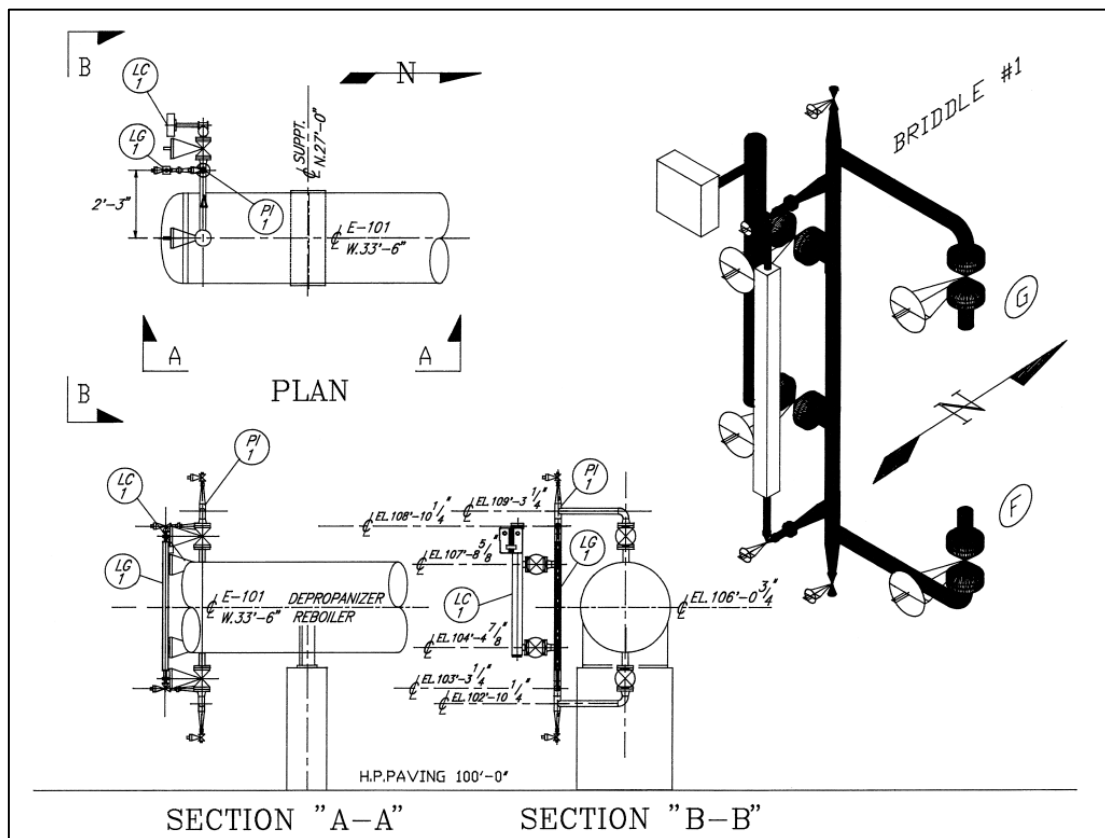


Imagen 34: Briddle #1

7.16. Briddle #2

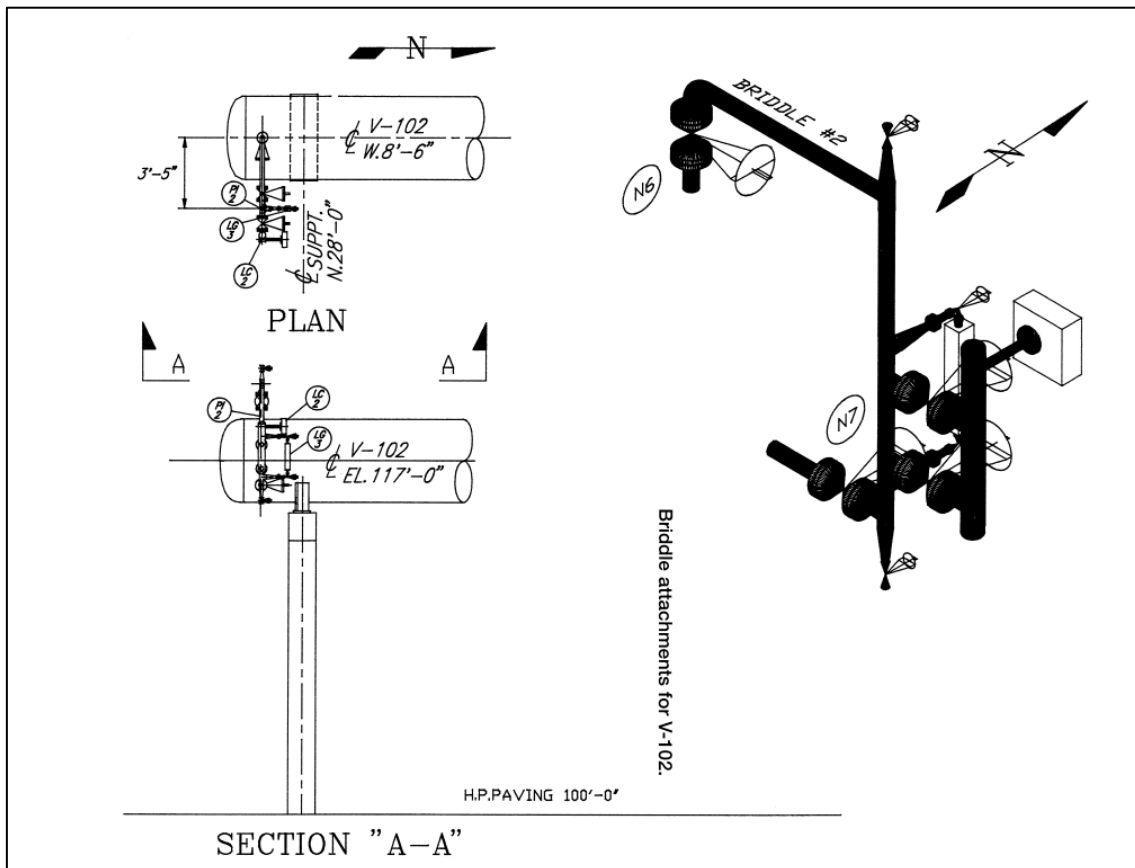


Imagen 35: Briddle #2

Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

8. Anejo:

Datos físicos y geométricos



8. Anejo "Datos físicos y geométricos"

1. Valores de las tuberías	2
1.1. Valores físicos y geométricos de las tuberías	2
1.2. Separación mínima entre tuberías.....	6
1.3. Valores de los accesorios.....	11
1.3.1. Líneas de 4" clase 300#.....	11
1.3.2. Líneas de 6", Schedule estándar	13
1.3.3. Líneas de 8", Schedule estándar y Clase 300#	16
1.3.4. Líneas de 10", Schedule estándar y Clase 300#	17
1.4. Tipos de clases de tuberías y accesorios.....	19
2. Valores de las estructuras	20
2.1. Valores físicos y geométricos de los perfiles metálicos	20
2.1.1. Perfiles pórtico.....	20
2.1.2. Perfiles vigas transversales	21
2.1.3. Perfiles soporte corto W.....	21
2.1.4. Perfiles soporte largo Ñ.....	21

1. Valores de las tuberías

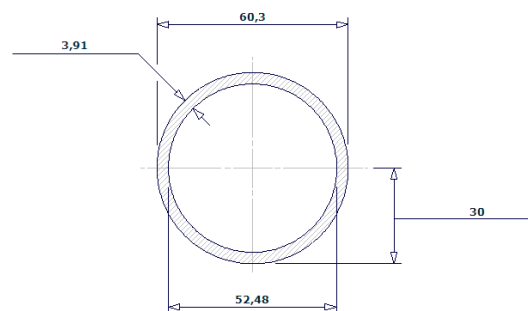
1.1. Valores físicos y geométricos de las tuberías

En este apartado encontraremos el diámetro interior y exterior, el grosor y el peso de la tubería llena y vacía.

Como no tenemos todos los datos de que producto circula por cada tuberías ni sus condiciones reales, se ha tomado el peso de la tubería llena de agua de la biblioteca de "PipeDataPro".

- **Diámetro 2"**
 - 24-A15-3"
 - 23-A15-2"
 - 16-C30-2"

2"NPS Sch-STD Pipe
Weight = 5,44 kg/m
Weight full with water = 7,6 kg/m

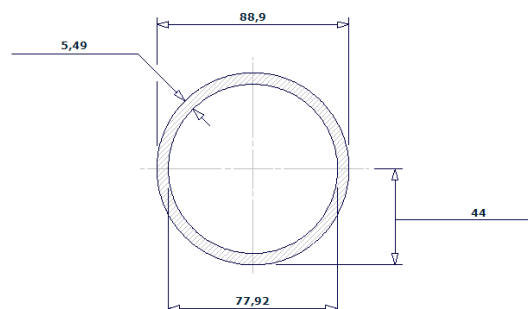


ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 1: valores físicos de la tubería 2" NPS Schedule estándar.

- **Diámetro 3"**
 - 26-C30-3"
 - 25-A15-3"

3"NPS Sch-STD Pipe
Weight = 11,29 kg/m
Weight full with water = 16,05 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 2: valores físicos de la tubería 3" NPS (Nominal Pipe Schedule) Schedule estándar.

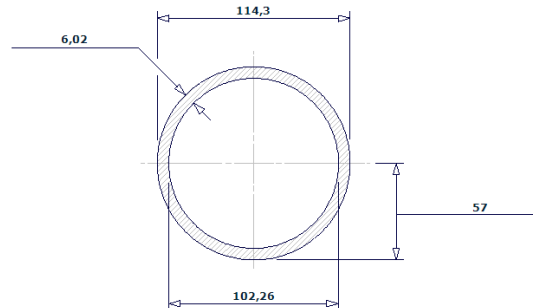
• **Diámetro 4"**

- 9-C30-4"
- 7-C30-4"
- 12-C30-4"

4"NPS Sch-STD Pipe

Weight = 16,08 kg/m

Weight full with water = 24,28 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 3: valores físicos y geométricos de la tubería 4" NPS Schedule estándar.

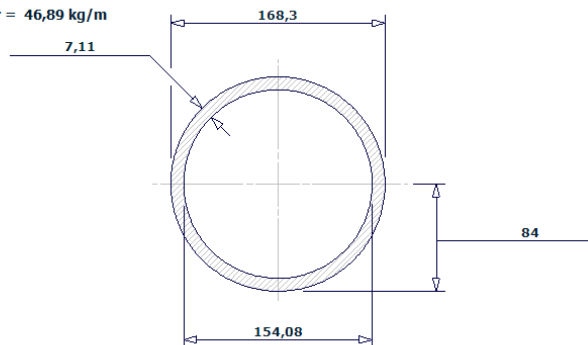
• **Diámetro 6"**

- 7-C30-6"
- 10-A15-6"
- 11-A15-6"
- 13-A15-6"
- 14-A15-6"
- 15-A15-6"

6"NPS Sch-STD Pipe

Weight = 28,26 kg/m

Weight full with water = 46,89 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 4: valores físicos y geométricos de la tubería 6" NPS Schedule estándar.

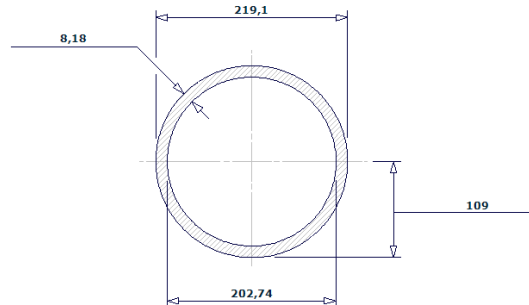
• **Diámetro 8"**

- 18-A15-8"
- 17-A15-8"
- 1-C30-8"
- 5-C30-8"

8"NPS Sch-STD Pipe

Weight = 42,55 kg/m

Weight full with water = 74,81 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 5: valores físicos y geométricos de la tubería 8" NPS Schedule estándar.

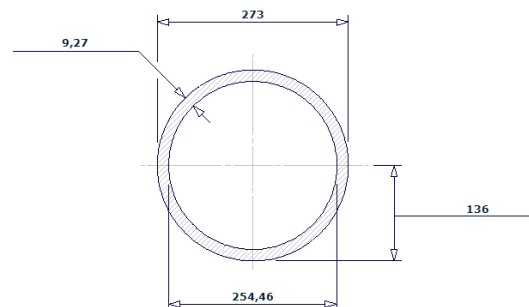
• **Diámetro 10"**

- 2-C30-10"
- 4-C30-10"
- 6-C30-10"
- 22-A15-10"
- 21-A15-10"
- 20-A15-10"
- 19-A15-10"

10"NPS Sch-STD Pipe

Weight = 60,29 kg/m

Weight full with water = 111,11 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

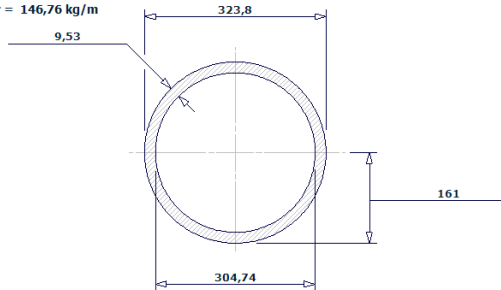
Imagen 6: valores físicos y geométricos de la tubería 10" NPS Schedule estándar.

- **Diámetro 12" pulgadas**
 - 3-C30-12"

12" NPS Sch-STD Pipe

Weight = 73,86 kg/m

Weight full with water = 146,76 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

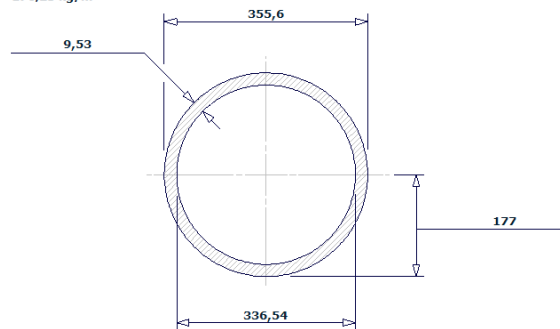
Imagen 7: valores físicos y geométricos de la tubería 12" NPS Schedule estándar.

- **Diámetro 14" pulgadas**
 - 27-C30-14"

14" NPS Sch-STD Pipe

Weight = 81,33 kg/m

Weight full with water = 170,23 kg/m



ASME B36.10M/19M-2018

Imagen 8: valores físicos de la tubería 14" NPS Schedule estándar.

	Peso tubería	
	Vacía (kg/m)	Llena de agua (kg/m)
2"	5,44	7,6
3"	11,29	16,05
4"	16,08	24,28
6"	28,26	46,89
8"	42,55	74,81
10"	60,29	111,11
12"	73,86	146,76
14"	81,33	170,23

Tabla 1: tabla resumen de los pesos de las tuberías llenas y vacías

1.2. Separación mínima entre tuberías

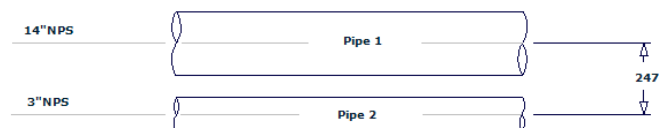
La separación entre tuberías esta cuantificada en la normativa ASME B36.1, en esta norma viene un dato mínimo que es necesario cumplir para que las líneas en conjunto cumplan con la normativa ASME B31.3.

A continuación, se van a incluir la separación mínima entre tuberías de diferentes diámetros. Estas tuberías, en gran parte, se encuentran sobre el rack y sobre los soportes corto y largo.

- Separación mínima entre la línea 27-C30-14" y la línea 26-C30-3" o entre una línea de 14" y otra de 3"

Pipe Spacing for : 14" x 3"NPS Pipes

Gap = 25



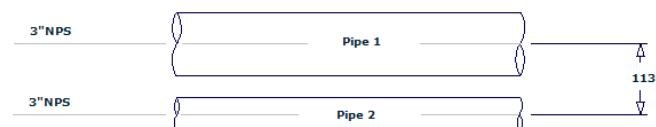
ASME B36.10M/19M

Imagen 9: Separación mínima entre la línea 27-C30-14" y la línea 26-C30-3"

- Separación mínima entre la línea 26-C30-3" y la línea 25-A15-3" o entre dos líneas de 3" de diámetro.

Pipe Spacing for : 3" x 3"NPS Pipes

Gap = 25



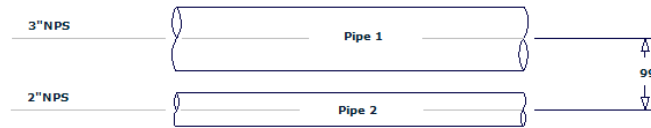
ASME B36.10M/19M

Imagen 10: Separación mínima entre la línea 26-C30-3" y la línea 25-A15-3"

- Separación mínima entre la línea 25-A15-3" y la línea 24-A15-2" o entre una línea de 3" de diámetro y otra de 2".

Pipe Spacing for : 3" x 2"NPS Pipes

Gap = 25



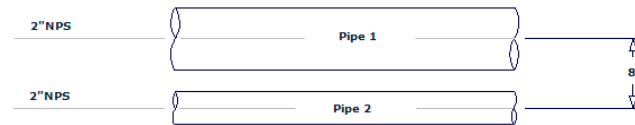
ASME B36.10M/19M

Imagen 11: Separación mínima entre la línea 25-A15-3" y la línea 24-A15-2"

- Separación mínima entre la línea 24-A15-2" y la línea 23-A15-2" o dos líneas de 2" de diámetro.

Pipe Spacing for : 2" x 2"NPS Pipes

Gap = 25



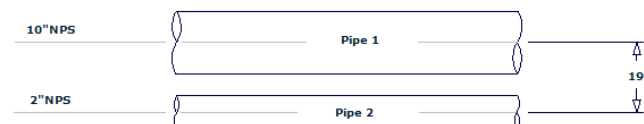
ASME B36.10M/19M

Imagen 12: Separación mínima entre la línea 24-A15-2" y la línea 23-A15-2"

- Separación mínima entre la línea 23-A15-2" y la línea 22-A15-10" o entre una línea de 2" y otra de 10" de diámetro.

Pipe Spacing for : 10" x 2"NPS Pipes

Gap = 25



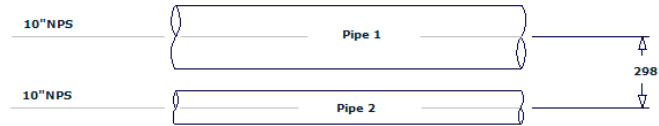
ASME B36.10M/19M

Imagen 13: Separación mínima entre la línea 23-A15-2" y la línea 22-A15-10"

- Separación mínima entre la línea 22-A15-10" y la línea 21-A15-10" por ejemplo, o entre dos líneas de 10" de diámetro.

Pipe Spacing for : 10" x 10"NPS Pipes

Gap = 25



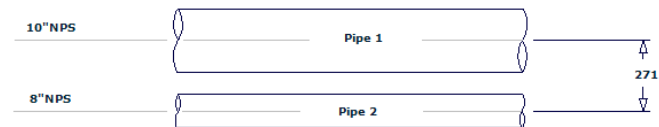
ASME B36.10M/19M

Imagen 14: separación mínima entre dos tuberías de 10"

- Separación mínima entre la línea 19-A15-10" y la línea 18-A15-8", o entre una línea de 10" de diámetro y otra de 8".

Pipe Spacing for : 10" x 8"NPS Pipes

Gap = 25



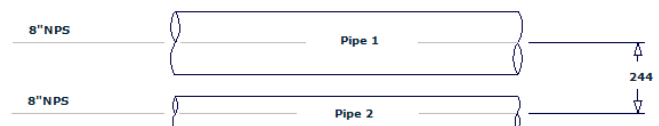
ASME B36.10M/19M

Imagen 15: Separación mínima entre la línea 19-A15-10" y la línea 18-A15-8"

- Separación mínima entre la línea 18-A15-8" y 17-A15-8", o entre dos líneas de 8" de diámetro.

Pipe Spacing for : 8" x 8"NPS Pipes

Gap = 25



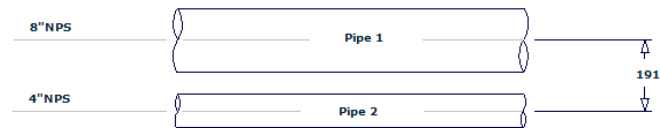
ASME B36.10M/19M

Imagen 16: Separación mínima entre la línea 18-A15-8" y 17-A15-8"

- Separación mínima entre la línea 17-A15-8" y 9-C30-4", o entre una línea de 8" de diámetro y otra de 4".

Pipe Spacing for : 8" x 4"NPS Pipes

Gap = 25



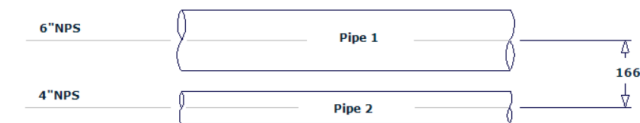
ASME B36.10M/19M

Imagen 17: Separación mínima entre la línea 17-A15-8" y 9-C30-4",

- Separación mínima entre la línea 9-C30-4" y la línea 7-C30-6", o entre una línea de 4" de diámetro y otra de 6".

Pipe Spacing for : 6" x 4"NPS Pipes

Gap = 25



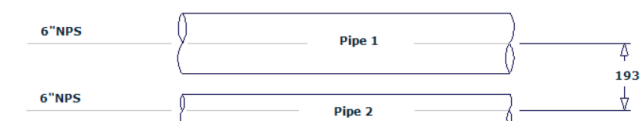
ASME B36.10M/19M

Imagen 18: Separación mínima entre la línea 9-C30-4" y la línea 7-C30-6"

- Separación mínima entre las líneas 10-A15-6" y 11-A15-6" encima del soporte corto W o la separación entre dos líneas de 6" de diámetro.

Pipe Spacing for : 6" x 6"NPS Pipes

Gap = 25



ASME B36.10M/19M

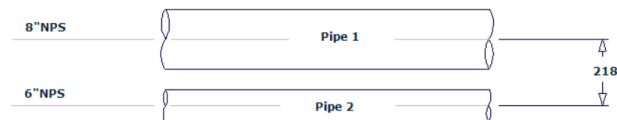
Imagen 19: Separación mínima entre las líneas 10-A15-6" y 11-A15-6"



- Separación mínima entre las líneas del soporte largo Ñ.
- Separación mínima entre las líneas 15-A15-6" y 5-C30-8" que es la misma distancia mínima entre la línea 5-C30-8" y 14-A15-6".

Pipe Spacing for : 8" x 6"NPS Pipes

Gap = 25



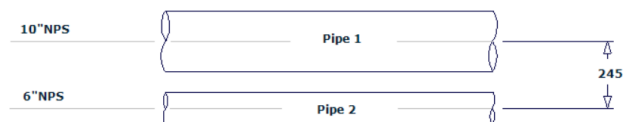
ASME B36.10M/19M

Imagen 20: Separación mínima entre las líneas 15-A15-6", 5-C30-8" y 14-A15-6"

- Separación mínima entre la línea 14-A15-6" y la línea 4-C30-10".

Pipe Spacing for : 10" x 6"NPS Pipes

Gap = 25



ASME B36.10M/19M

Imagen 21: Separación mínima entre las líneas 14-A15-6" y 4-C30-10"

1.3. Valores de los accesorios

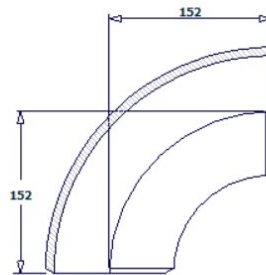
En este apartado se van a incluir todos los accesorios utilizados en las líneas simuladas en CaePipe, separados por diámetro y clase.

1.3.1. Líneas de 4" clase 300#

- Línea 9-C30-4"
- Línea 7-C30-4"
- Codo 90°

4"NPS BW 90° LR Elbow Sch-STD

Weight = 3,9 kg



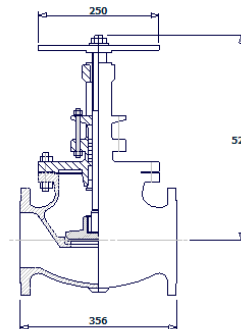
ASME B16.9-2018

Imagen 22: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 4" y Schedule STD

- Válvula de globo

4"NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 86kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

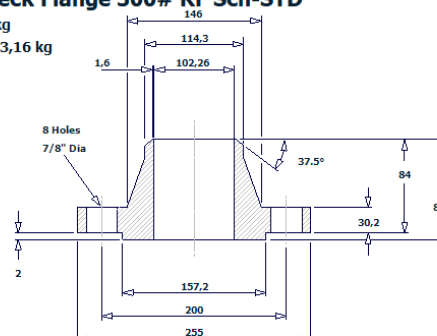
Imagen 23: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 4", 300# y caras RF

- Brida

4"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 11,65 kg

S/Bolts and Nuts = 3,16 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 115 Long

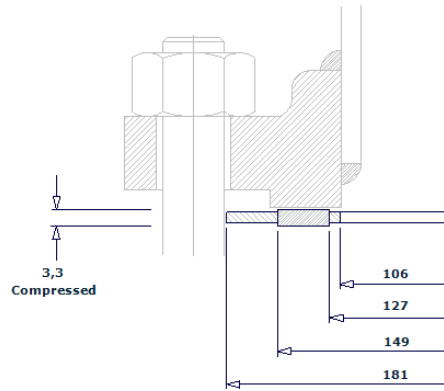
ASME B16.5-2017

Imagen 24: valores una brida WeldNeck de 4", clase 300#, caras RF y Schedule estándar

- Junta para la brida

4"NPS Spiral-Wound Gasket for ASME B16.5 Flanges 300# RF

Weight = 0,26 kg



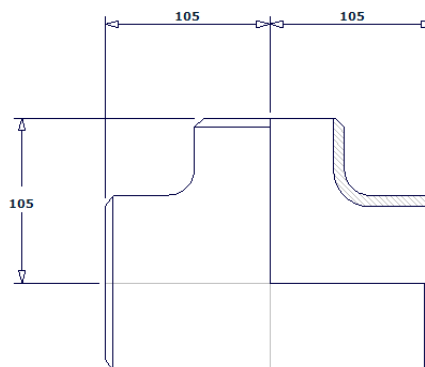
ASME B16.20-2016

Imagen 25: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 4" y clase 300#

- Tee

4"NPS BW Equal Tee Sch-STD

Weight = 6 kg



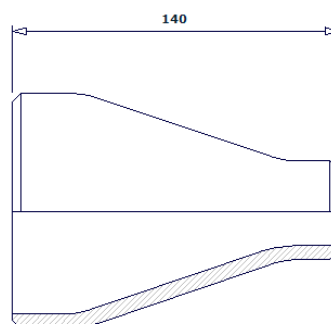
ASME B16.9-2018

Imagen 26: Tee con todas las entradas de 4" y Schedule estándar

- Reductor concéntrico de 4" a 6"

6" x 4"NPS BW Concentric Reducer Sch-STD

Weight = 3,9 kg



ASME B16.9-2018

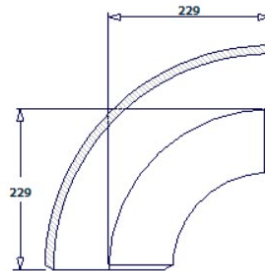
Imagen 27: reductor concéntrico de 6" a 4" ambos de Schedule estándar

1.3.2. Líneas de 6", Schedule estándar

- Línea 10-A15-6"
 - Línea 11-A15-6"
 - Línea 14-A15-6"
 - Línea 15-A15-6"
 - Línea 7-C30-6"
- Codo 90°

6"NPS BW 90° LR Elbow Sch-STD

Weight = 10,2 kg



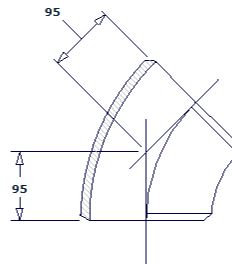
ASME B16.9-2018

Imagen 28: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 6" y Schedule STD

- Codo 45°

6"NPS BW 45° Elbow Sch-10s

Weight = 2,75 kg



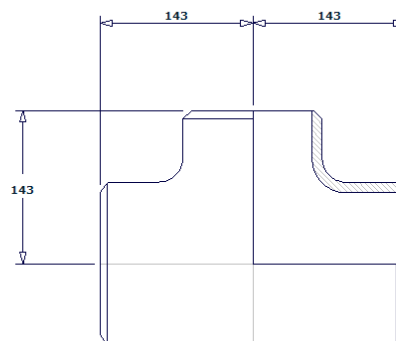
ASME B16.9-2018

Imagen 29: valores geométricos de un codo de 45°, diámetro 6" y Schedule STD

- Tee

6"NPS BW Equal Tee Sch-STD

Weight = 16,48 kg



ASME B16.9-2018

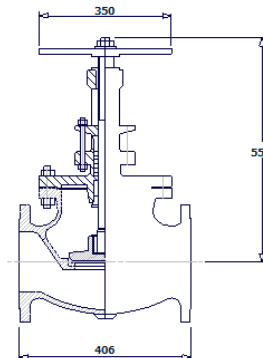
Imagen 30: Tee de 6" y Schedule estándar con todas las entradas iguales

1.3.2.1. Clase 150#

- Válvula de globo

6"NPS Flanged Globe Valve 150# RF

Valve Weight = 101kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

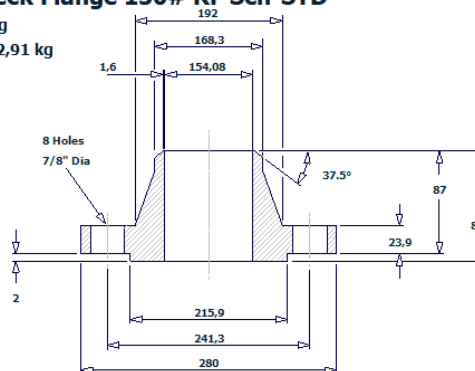
Imagen 31: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 6", 150# y caras RF

- Brida

6"NPS Weldneck Flange 150# RF Sch-STD

Flange Wt = 10,91 kg

S/Bolts and Nuts = 2,91 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 100 Long

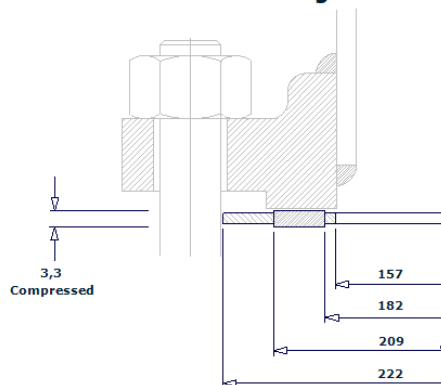
ASME B16.5-2017

Imagen 32: valores una brida WeldNeck de 6", clase 150#, caras RF y Schedule estándar

- Junta para la brida

6"NPS Spiral-Wound Gasket for ASME B16.5 Flanges 150# RF

Weight = 0,3 kg



ASME B16.20-2016

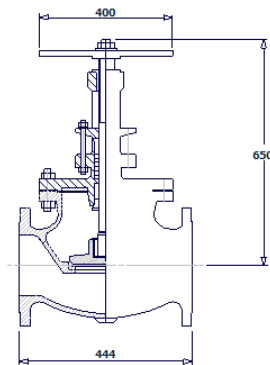
Imagen 33: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 6" y clase 150#

1.3.2.2. Clase 300#

- Válvula de globo

6"NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 150kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

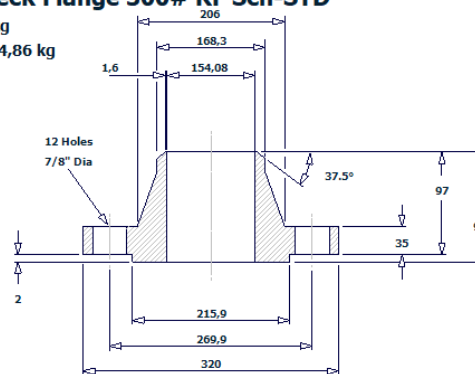
Imagen 34: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 6", 300# y caras RF

- Brida

6"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 20,13 kg

S/Bolts and Nuts = 4,86 kg



StudBolt Size : 3/4" UNC (or M20) x 120 Long

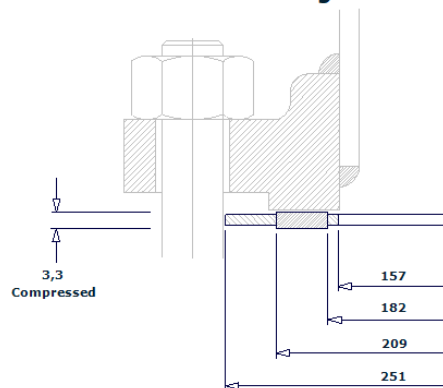
ASME B16.5-2017

Imagen 35: valores una brida WeldNeck de 6", clase 300#, caras RF y Schedule estándar

- Junta para la brida

6"NPS Spiral-Wound Gasket for ASME B16.5 Flanges 300# RF

Weight = 0,47 kg



ASME B16.20-2016

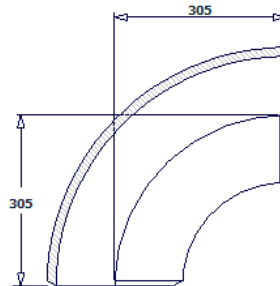
Imagen 36: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 6" y clase 300#

1.3.3. Líneas de 8", Schedule estándar y Clase 300#

- Línea 1C30-8"
- Línea 5-C30-8"
- Codo 90°

8"NPS BW 90° LR Elbow Sch-STD

Weight = 20,3 kg



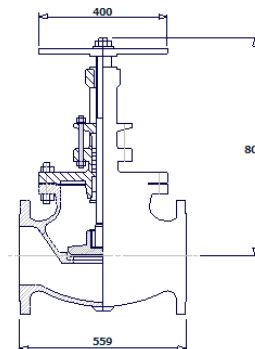
ASME B16.9-2018

Imagen 37: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 8" y Schedule STD

- Válvula de globo

8"NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 397kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

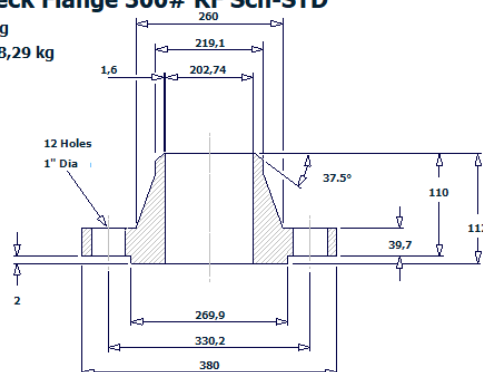
Imagen 38: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 8", 300# y caras RF

- Brida

8"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 30,61 kg

S/Bolts and Nuts = 8,29 kg



StudBolt Size : 7/8" UNC (or M24) x 140 Long

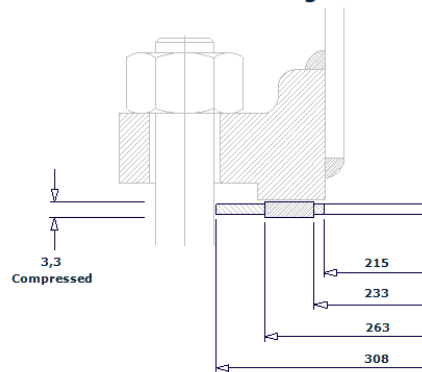
ASME B16.5-2017

Imagen 39: valores una brida WeldNeck de 8", clase 300#, caras RF y Schedule estándar

- Junta para la brida

8"NPS Spiral-Wound Gasket for ASME B16.5 Flanges 300# RF

Weight = 0,64 kg



ASME B16.20-2016

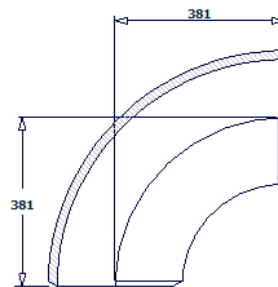
Imagen 40: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 8" y clase 300#

1.3.4. Líneas de 10", Schedule estándar y Clase 300#

- Línea 4-C30-10"
- Línea 6-C30-10"
- Codo 90°

10"NPS BW 90° LR Elbow Sch-STD

Weight = 37 kg



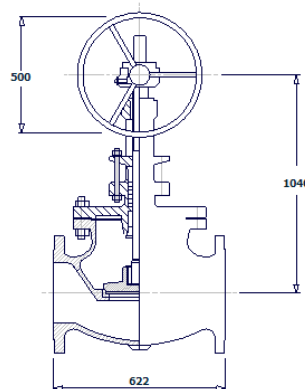
ASME B16.9-2018

Imagen 41: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 10" y Schedule STD

- Válvula de globo

10"NPS Flanged Globe Valve 300# RF

Valve Weight = 527kg



Weight based on 'Schlumberger/Cameron' valves

ASME B16.10-2017

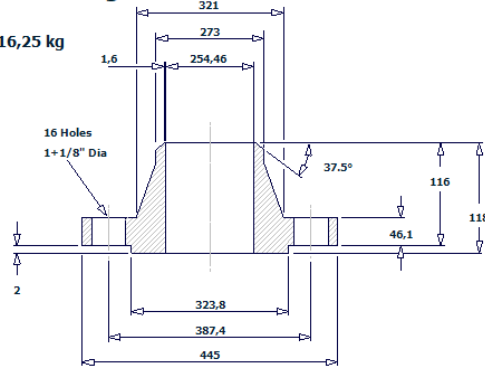
Imagen 42: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 10", 300# y caras RF

- Brida

10"NPS Weldneck Flange 300# RF Sch-STD

Flange Wt = 44,5 kg

S/Bolts and Nuts = 16,25 kg



StudBolt Size : 1" UNC (or M27) x 160 Long

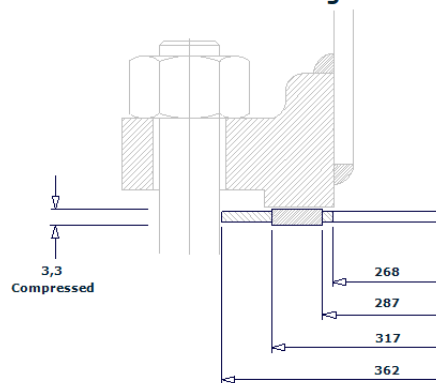
ASME B16.5-2017

Imagen 43: valores una brida WeldNeck de 10", clase 300#, caras RF y Schedule estándar

- Junta para la brida

10"NPS Spiral-Wound Gasket for ASME B16.5 Flanges 300# RF

Weight = 0,79 kg



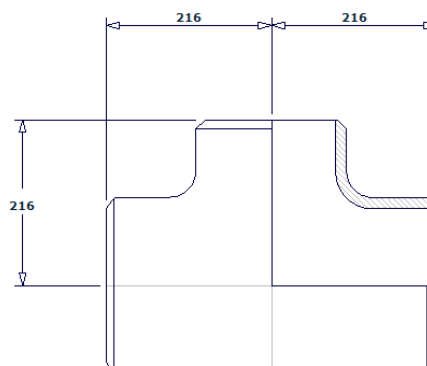
ASME B16.20-2016

Imagen 44: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 10" y clase 300#

- Tee

10"NPS BW Equal Tee Sch-STD

Weight = 49,35 kg



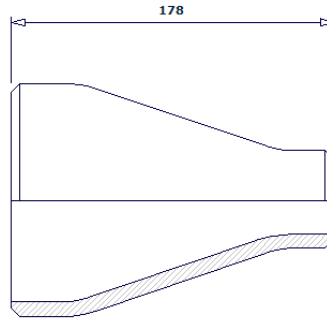
ASME B16.9-2018

Imagen 45: Tee de 10" y Schedule estándar con todas las entradas iguales

- Reductor concéntrico de 10" a 8"

10" x 8" NPS BW Concentric Reducer Sch-STD

Weight = 10,7 kg



ASME B16.9-2018

Imagen 46: reductor concéntrico de 10" a 8" ambos de Schedule estándar

1.4. Tipos de clases de tuberías y accesorios.

La clase de la tubería nos da mucha información, como las condiciones de presión y temperatura máximas, su coeficiente de corrosión y hasta los accesorios compatibles.

En este proyecto solo trabajaremos con dos tipos diferentes, A15 y C30:

PIPE		A15		SPEC		
POUND RATING 150 #		MATERIAL: CARBON STEEL				
CORROSION ALLOWANCE .05"	CONDITIONS: PSIG °F	DESIGN		OPERATING		
		200		175		
		350		275		
ITEM	SIZES IN INCHES	WEIGHT/RATING	DESCRIPTION			
Pipe	1/2" - 1 1/2" 2" 3" - 24"	EX. HVY. STD. WT. STD. WT.	SEAMLESS-PLAIN ENDS SEAMLESS-PLAIN ENDS SEAMLESS-BEVELED ENDS			
Fittings	1/2" - 2" 3" - 24"	3000# STD. WT.	FORGED STEEL SOCKET WELD FORGED STEEL BUTT WELD			
Flanges	1/2" - 1 1/2" 2" 3" - 24"	150# 150# 150#	FS - RAISED FACE SOCKET WELD FS - RAISED FACE SOCKET WELD FS - RAISED FACE WELD NECK			
VALVES	SIZES IN INCHES	WEIGHT/RATING	DESCRIPTION	Man./Model No.	END TYPES	
Gate	1/2" - 2" 3" - 24"	150-800 150	CAST STEEL	CRANE: Model No. 46XU	SCRD	
			CAST STEEL	CRANE: Model No. 47XU	RF	
Globe	1/2" - 2" 3" - 24"	150-800 150	CAST STEEL	CRANE: Model No. 142X	SCRD	
			CAST STEEL	CRANE: Model No. 143X	RF	
GASKETS	Flexitallic style - 150#, 304SS: 1/8" thick					
BRANCH CONNECT.	LINE SIZE 2"-BELOW 3"-ABOVE	USE A TEE USE A TEE AND SWAGE ON SIZES 2" & SMALLER STUB-IN WHEN LESS THAN LINE SIZE	150 #			

Imagen 47: propiedades especificación de tubería A15

PIPE C30 SPEC					
POUND RATING 300 #			MATERIAL: CARBON STEEL		
CORROSION ALLOWANCE .05"		CONDITIONS: PSIG °F		DESIGN	OPERATING
				375	300
				425	350
ITEM	SIZES IN INCHES	WEIGHT/RATING	DESCRIPTION		
Pipe	1/2" - 1 1/2" 2" 3" - 24"	EX. HVY. STD. WT. STD. WT.	SEAMLESS-PLAIN ENDS SEAMLESS-PLAIN ENDS SEAMLESS-BEVELED ENDS		
Fittings	1/2" - 2" 3" - 24"	3000# STD. WT.	FORGED STEEL SOCKET WELD FORGED STEEL BUTT WELD		
Flanges	1/2" - 1 1/2" 2" 3" - 24"	300# 300# 300#	FS - RAISED FACE SOCKET WELD FS - RAISED FACE SOCKET WELD FS - RAISED FACE WELD NECK		
VALVES	SIZES IN INCHES	WEIGHT/RATING	DESCRIPTION	Man./Model No.	END TYPES
Gate	1/2" - 2" 3" - 24"	300 300	CAST STEEL - WEDGE	CRANE: Model No. 32XU	SCRD
			CAST STEEL - WEDGE	CRANE: Model No. 33X	RF
Globe	1/2" - 2" 3" - 24"	300 300	BRONZE - PLUG TYPE	CRANE: Model No. 382P	SCRD
			CAST STEEL	CRANE: Model No. 151X	RF
GASKETS		Flexitallic style - 300#, 304SS: 1/8" thick			
BRANCH CONNECT.	LINE SIZE	USE A TEE	300 #		
	2"-BELOW 3"-ABOVE	USE A TEE AND SWAGE ON SIZES 2" & SMALLER STUB-IN WHEN LESS THAN LINE SIZE			

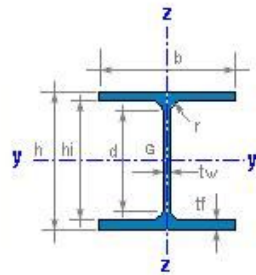
Imagen 48: propiedades especificación de tubería C30

2. Valores de las estructuras

2.1. Valores físicos y geométricos de los perfiles metálicos

2.1.1. Perfiles pórtico

HEB 220



h = 220 mm	r = 18 mm
b = 220 mm	d = 152.0 mm
tw = 9.5 mm	hi = 188.0 mm
tf = 16.0 mm	

A = 91.0 cm ²	M = 71.5 kg/m
--------------------------	---------------

I _y = 8091 cm ⁴	I _z = 2843 cm ⁴
W _y = 735.6 cm ³	W _z = 258.5 cm ³
W _{ply} = 827.1 cm ³	W _{plz} = 393.9 cm ³
i _y = 9.43 cm	i _z = 5.59 cm
I _t = 77.0 cm ⁴	I _w = 295814 cm ⁶

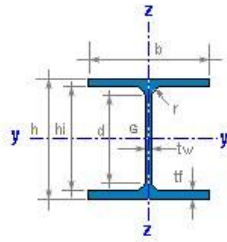
S _y = 413.5 cm ³	Av _z = 27.93 cm ²
s _y = 19.6 cm	

AL = 1.270 m ² /m	AG = 17.77 m ² /t
------------------------------	------------------------------

Imagen 49: datos geométricos y físicos HEB 220

2.1.2. Perfiles vigas transversales

HEA 140



$h = 133 \text{ mm}$	$r = 12 \text{ mm}$
$b = 140 \text{ mm}$	$d = 92.0 \text{ mm}$
$tw = 5.5 \text{ mm}$	$hi = 116.0 \text{ mm}$
$tf = 8.5 \text{ mm}$	

$A = 31.4 \text{ cm}^2$	$M = 24.7 \text{ kg/m}$
-------------------------	-------------------------

$I_y = 1033 \text{ cm}^4$	$I_z = 389 \text{ cm}^4$
$Wy = 155.4 \text{ cm}^3$	$Wz = 55.6 \text{ cm}^3$
$Wply = 173.5 \text{ cm}^3$	$Wplz = 84.8 \text{ cm}^3$
$iy = 5.73 \text{ cm}$	$iz = 3.52 \text{ cm}$
$It = 8.1 \text{ cm}^4$	$Iw = 15086 \text{ cm}^6$

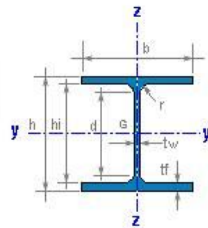
$Sy = 86.8 \text{ cm}^3$	$Avz = 10.13 \text{ cm}^2$
$sy = 11.9 \text{ cm}$	

$AL = 0.794 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 32.21 \text{ m}^2/\text{t}$
-----------------------------------	-----------------------------------

Imagen 50: datos geométricos y físicos HEB 140

2.1.3. Perfiles soporte corto W

HEB 160



$h = 160 \text{ mm}$	$r = 15 \text{ mm}$
$b = 160 \text{ mm}$	$d = 104.0 \text{ mm}$
$tw = 8.0 \text{ mm}$	$hi = 134.0 \text{ mm}$
$tf = 13.0 \text{ mm}$	

$A = 54.3 \text{ cm}^2$	$M = 42.6 \text{ kg/m}$
-------------------------	-------------------------

$I_y = 2492 \text{ cm}^4$	$I_z = 889 \text{ cm}^4$
$Wy = 311.5 \text{ cm}^3$	$Wz = 111.2 \text{ cm}^3$
$Wply = 354.0 \text{ cm}^3$	$Wplz = 170.0 \text{ cm}^3$
$iy = 6.78 \text{ cm}$	$iz = 4.05 \text{ cm}$
$It = 31.3 \text{ cm}^4$	$Iw = 48039 \text{ cm}^6$

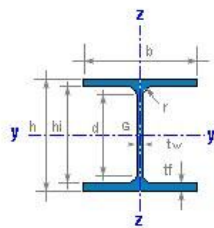
$Sy = 177.0 \text{ cm}^3$	$Avz = 17.60 \text{ cm}^2$
$sy = 14.1 \text{ cm}$	

$AL = 0.918 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 21.56 \text{ m}^2/\text{t}$
-----------------------------------	-----------------------------------

Imagen 51: datos geométricos y físicos HEB 160

2.1.4. Perfiles soporte largo Ñ

HEM 240



$h = 270 \text{ mm}$	$r = 21 \text{ mm}$
$b = 248 \text{ mm}$	$d = 164.0 \text{ mm}$
$tw = 18.0 \text{ mm}$	$hi = 206.0 \text{ mm}$
$tf = 32.0 \text{ mm}$	

$A = 199.6 \text{ cm}^2$	$M = 156.7 \text{ kg/m}$
--------------------------	--------------------------

$I_y = 24290 \text{ cm}^4$	$I_z = 8153 \text{ cm}^4$
$Wy = 1799.3 \text{ cm}^3$	$Wz = 657.5 \text{ cm}^3$
$Wply = 2117.0 \text{ cm}^3$	$Wplz = 1005.9 \text{ cm}^3$
$iy = 11.03 \text{ cm}$	$iz = 6.39 \text{ cm}$
$It = 626.0 \text{ cm}^4$	$Iw = 1154494 \text{ cm}^6$

$Sy = 1058.5 \text{ cm}^3$	$Avz = 60.07 \text{ cm}^2$
$sy = 22.9 \text{ cm}$	

$AL = 1.460 \text{ m}^2/\text{m}$	$AG = 9.32 \text{ m}^2/\text{t}$
-----------------------------------	----------------------------------

Imagen 52: datos geométricos y físicos HEM-240



Firma del autor:

Firmado: Carlos Rodríguez Jiménez

DNI: 04862121-J

Fecha: 06/julio/2021

9. Anejo: Planos

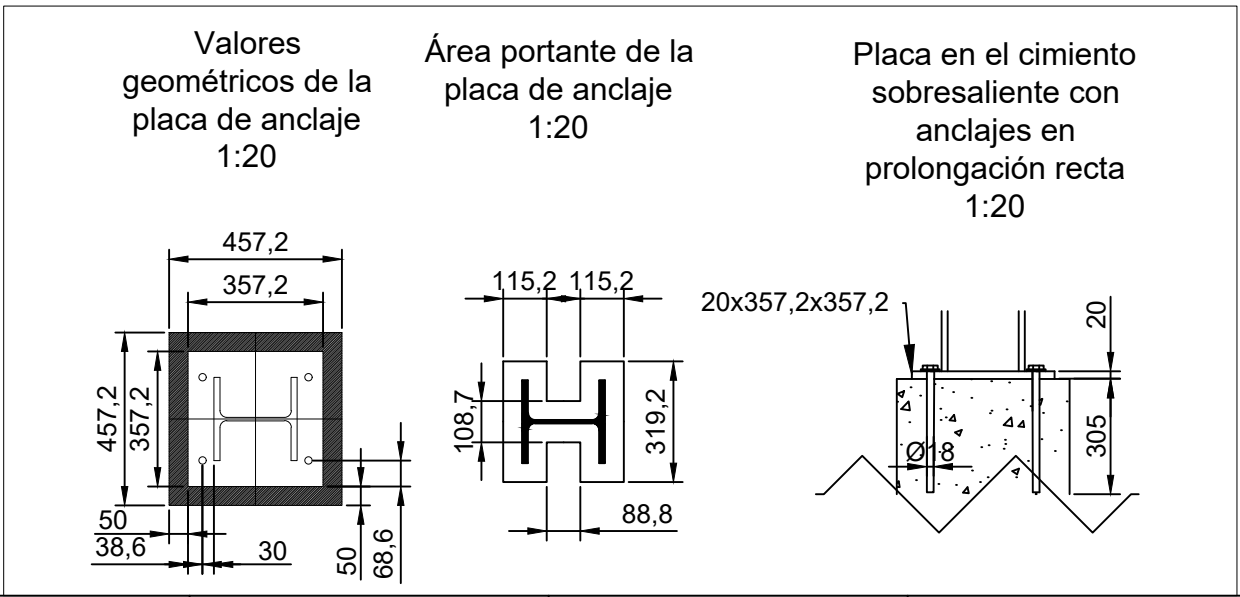
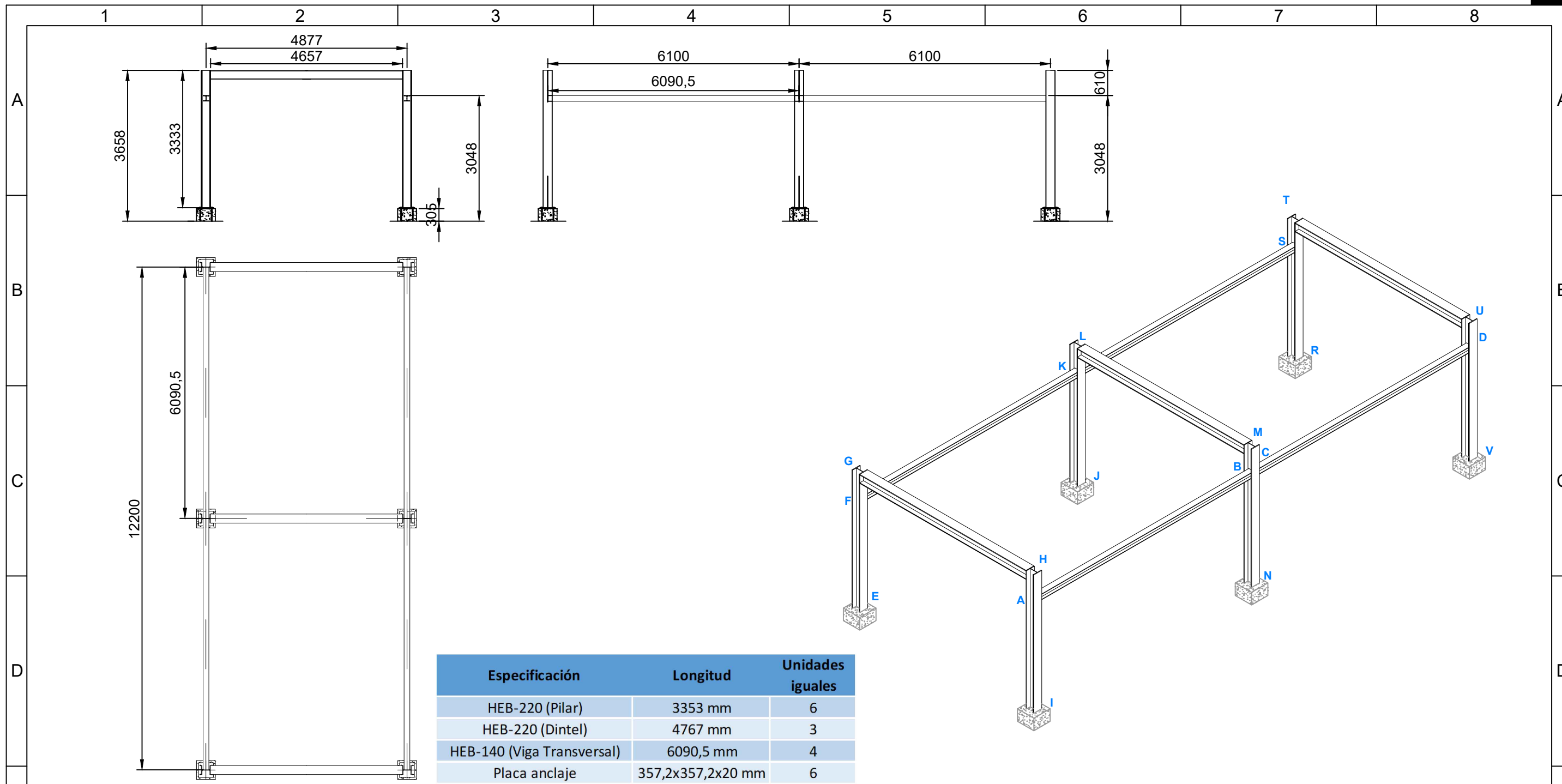


9. Anejo Planos:

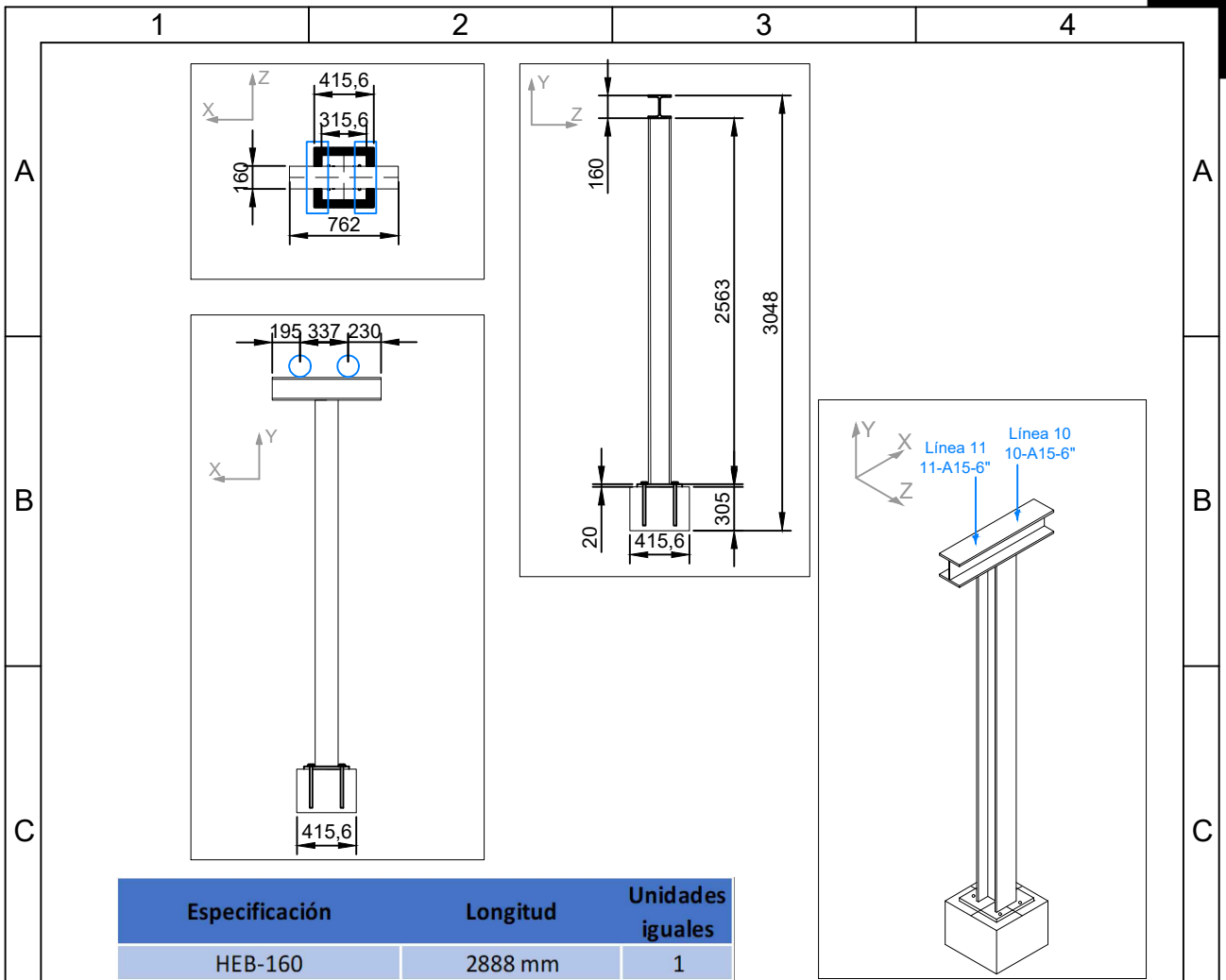
Organización de los planos:

9.1. Planos estructuras:

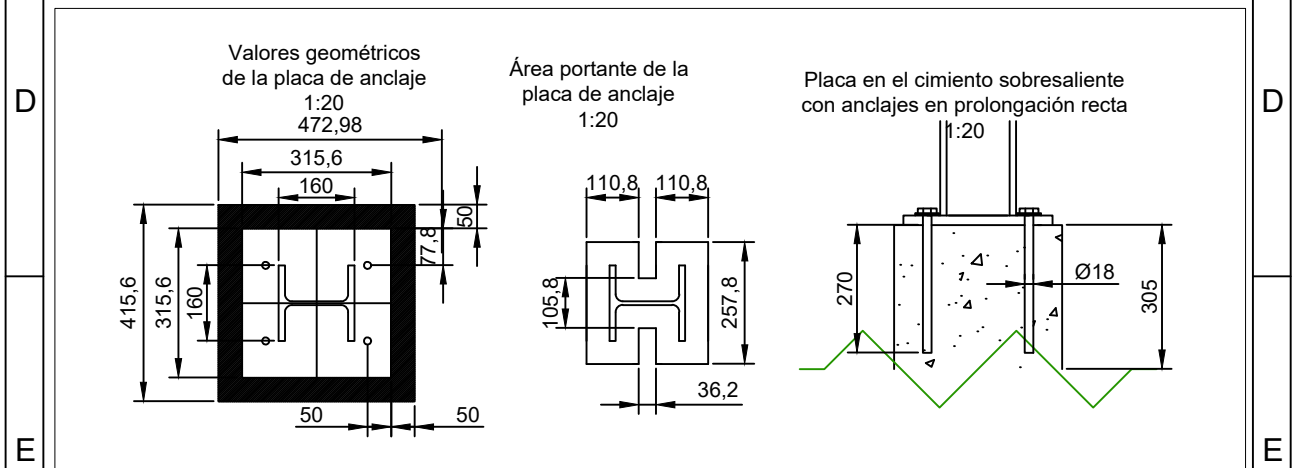
- Plano_ESTR_01 → Estructura rack
- Plano_ESTR_02 → Soporte corto W
- Plano_ESTR_03 → Soporte largo Ñ
- Plano_ESTR_04 → Trunions y soportes bombas
- Plano_ESTR_01 → Cimientos y bancadas de la unidad depropanizadora





CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:75			5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : Estructura Rack		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano ESTR_01		A-3

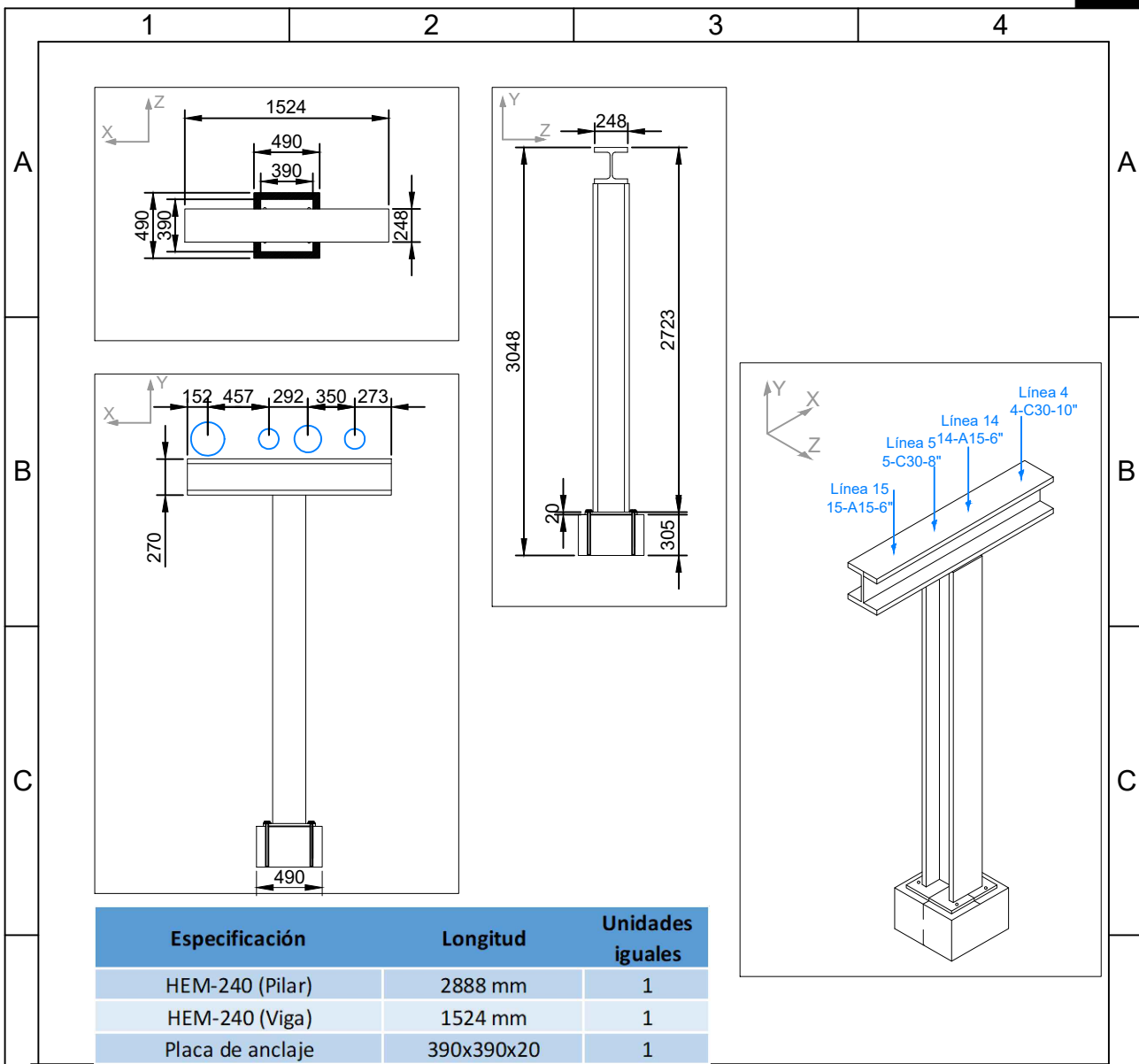


Especificación	Longitud	Unidades iguales
HEB-160	2888 mm	1
HEB-160 Viga)	762 mm	1
Placa de anclaje	315,6X315,6X20 mm	1

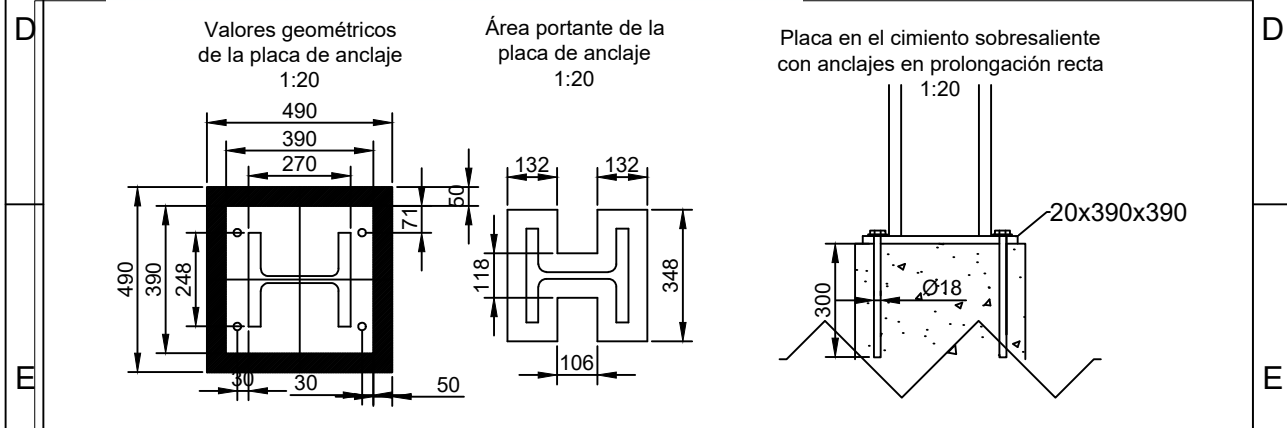



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Proyecto :	Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora	REVISIÓN
			01-Julio-2021
1:50	Plano :	Soporte corto W	TAMAÑO
1:20			A-4
UNIDADES	Nº de plano :	Plano ESTR_02	
mm			



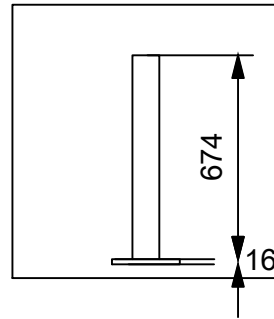
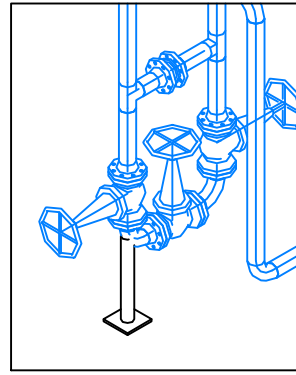
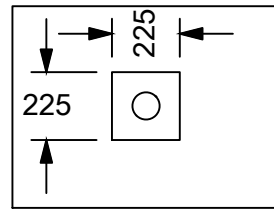
Especificación	Longitud	Unidades iguales
HEM-240 (Pilar)	2888 mm	1
HEM-240 (Viga)	1524 mm	1
Placa de anclaje	390x390x20	1



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

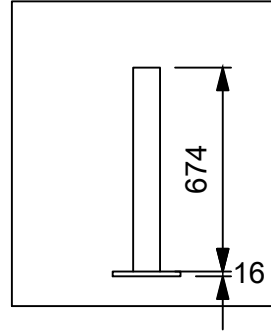
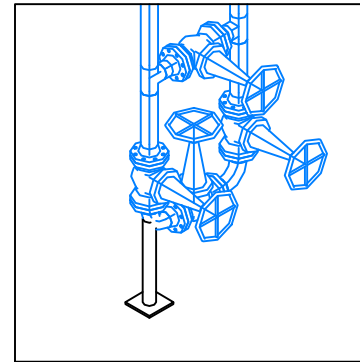
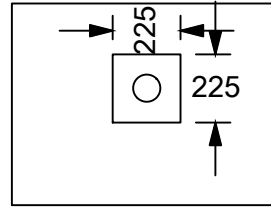
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora	REVISIÓN
		01-Julio-2021
UNIDADES	Plano : Soporte largo Ñ	TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano ESTR_03	A-4

Trunnion Línea 9-C30-4"
1:25

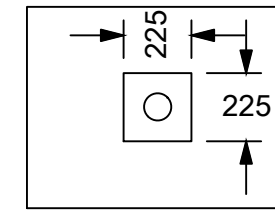


Trunnion Línea 9-C30-4"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	760 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1

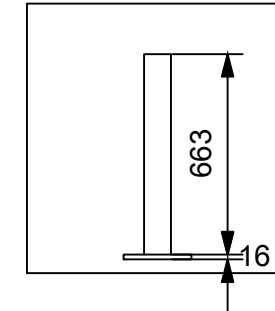
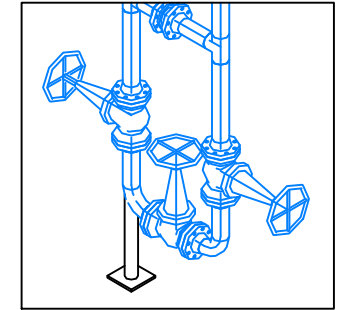
Trunnion Línea 12-C30-4"
1:25



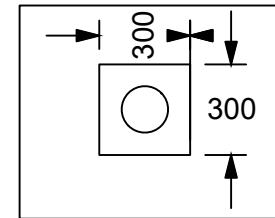
Trunnion Línea 12-C30-4"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	760 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1



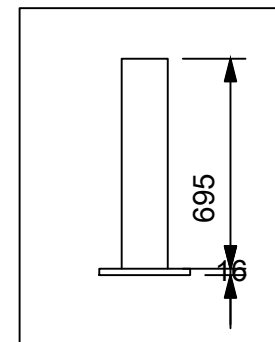
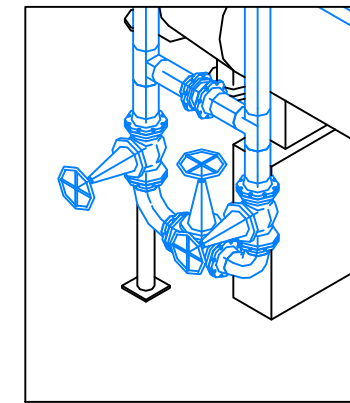
Trunnion Línea 7-C30-4"
1:25



Trunnion Línea 7-C30-4"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 100x2 mm	749,2 mm	1
Placa de anclaje	225x225x16	1

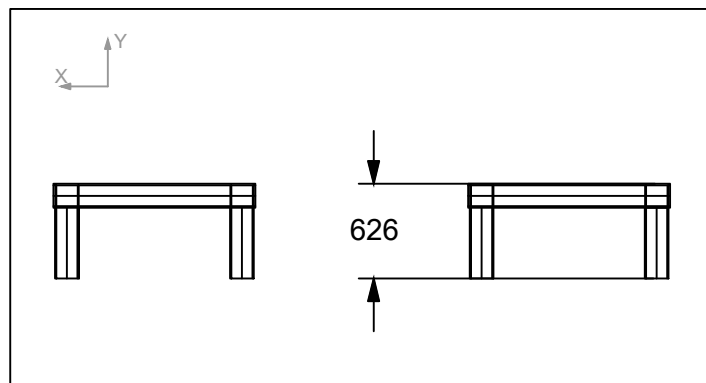
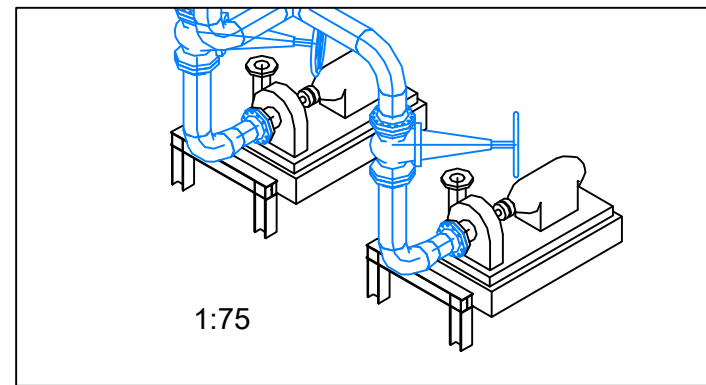
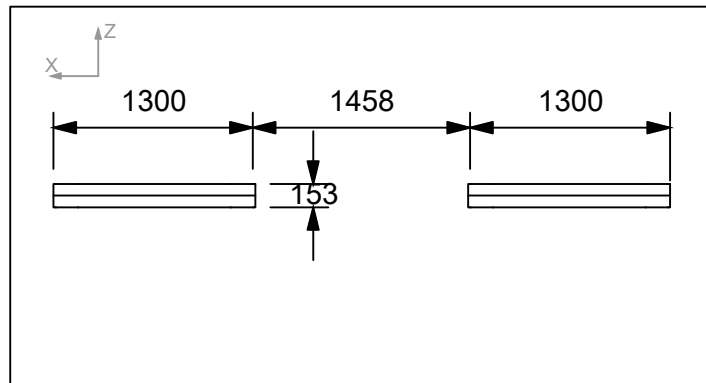


Trunnion Línea 11-A15-6"
1:25



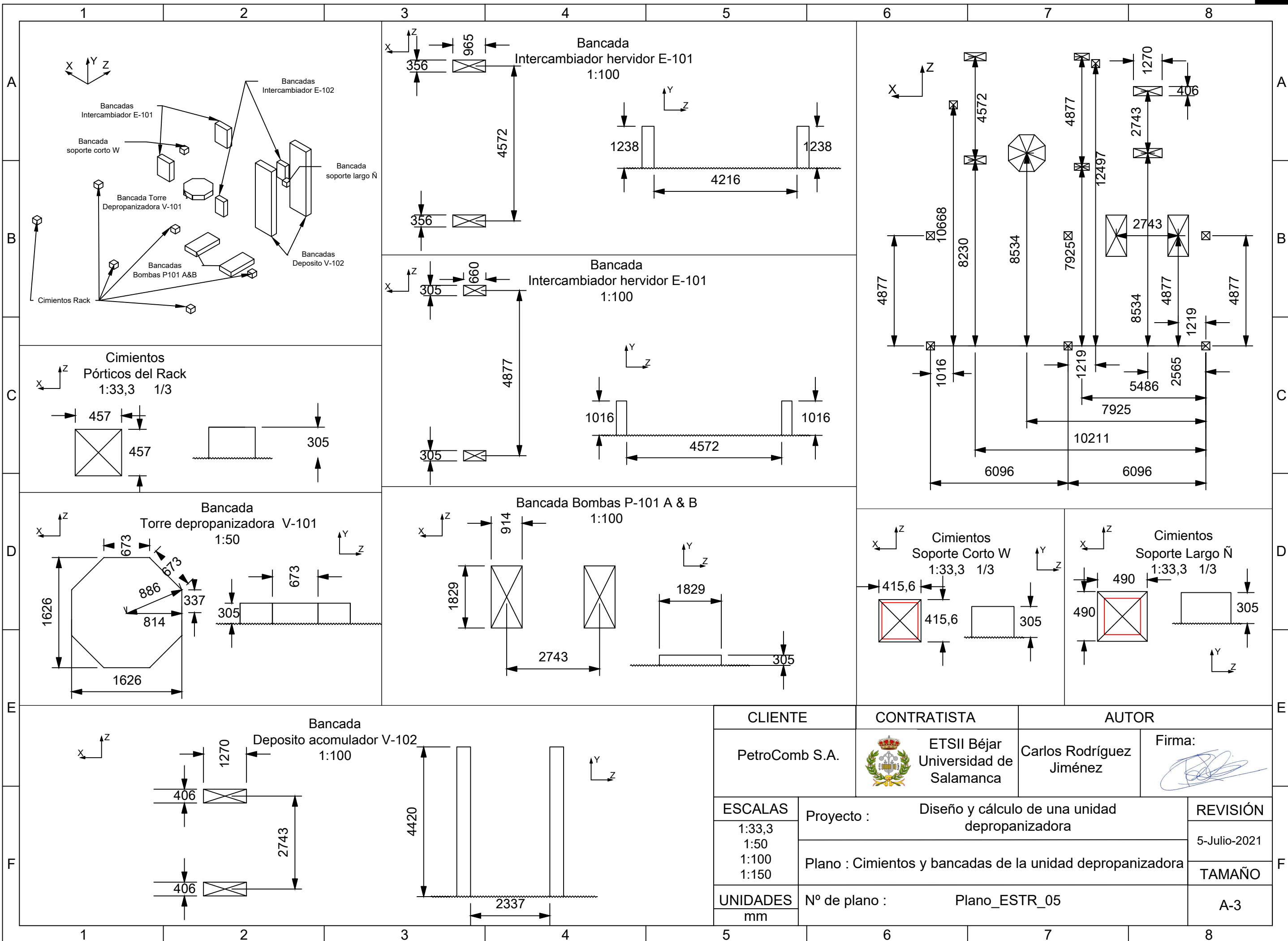
Trunnion Línea 11-A15-6"		
Especificación	Longitud	Unidades iguales
Tubo cilíndrico 150x5 mm	836,2 mm	1
Placa de anclaje	230x230x16	1

Soportes Extra para las Bombas
1:50



Notas:

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:25 1:50	Plano : TRUNNIONS Y SOPORTE BOMBAS		TAMAÑO
UNIDADES	Nº de plano : Plano ESTR_04		A-3
mm			



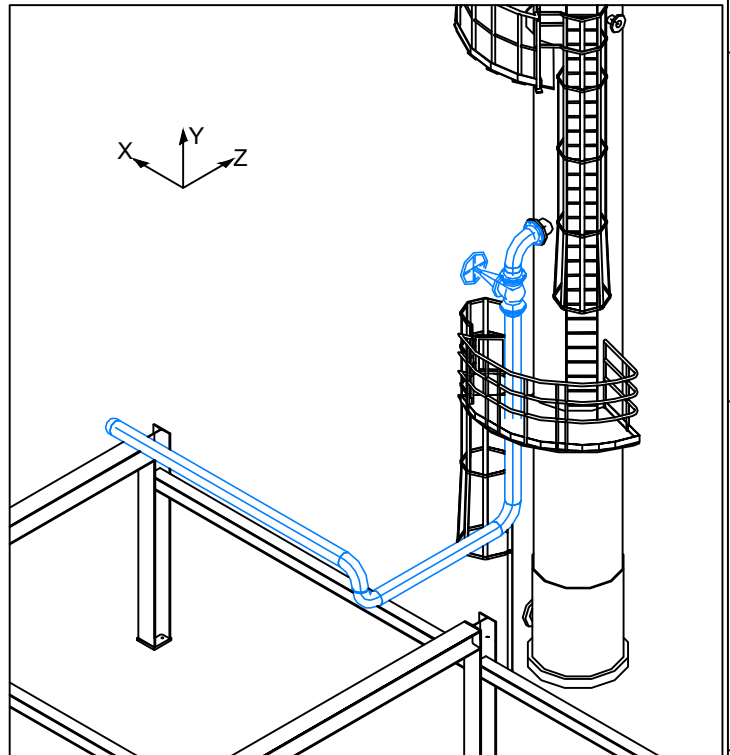
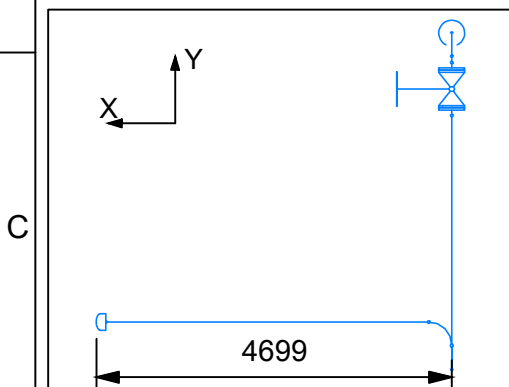
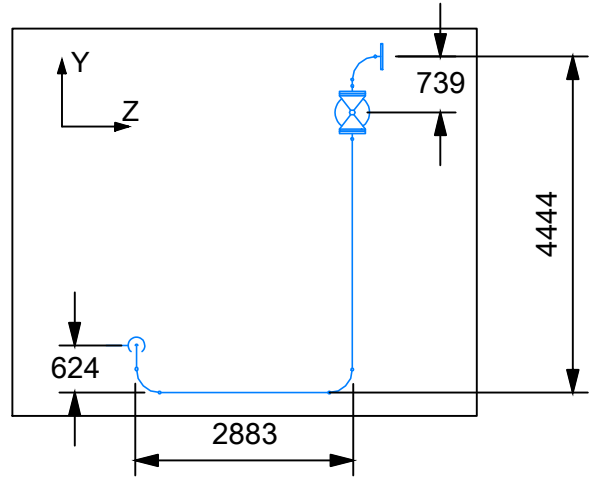
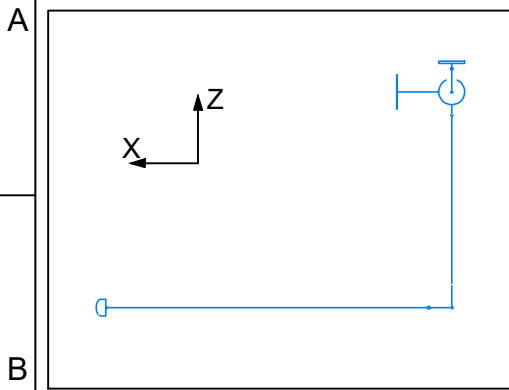
CLIENTE		CONTRATISTA		AUTOR	
PetroComb S.A.		 ETSII Béjar Universidad de Salamanca		Carlos Rodríguez Jiménez Firma: 	
ESCALAS		Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora			REVISIÓN
1:33,3 1:50 1:100 1:150		Plano : Cimientos y bancadas de la unidad depropanizadora			5-Julio-2021
UNIDADES		Nº de plano : Plano ESTR_05			TAMAÑO
mm					A-3





9.2. Planos tuberías:

- Plano_TUBE_01 → Línea 1-C30-8"
- Plano_TUBE_02 → Línea 2-C30-10"
- Plano_TUBE_03 → Línea 3-C30-12"
- Plano_TUBE_04 → Línea 4-C30-10"
- Plano_TUBE_05 → Línea 5-C30-8"
- Plano_TUBE_06 → Línea 6-C30-10"
- Plano_TUBE_07 → Línea 7-C30-X"
- Plano_TUBE_08 → Línea 9-C30-4"
- Plano_TUBE_09 → Línea 10-A15-6"
- Plano_TUBE_10 → Línea 11-A15-6"
- Plano_TUBE_11 → Línea 12-C30-4"
- Plano_TUBE_12 → Línea 13-A15-6"
- Plano_TUBE_13 → Línea 14-A15-6"
- Plano_TUBE_14 → Línea 15-A15-6"
- Plano_TUBE_15 → Línea 16-C30-2"
- Plano_TUBE_16 → Líneas sobre el rack
- Plano_TUBE_17 → Briddle #1
- Plano_TUBE_18 → Briddle #2

LÍNEA 1-C30-8"
Acero A53 Grado B

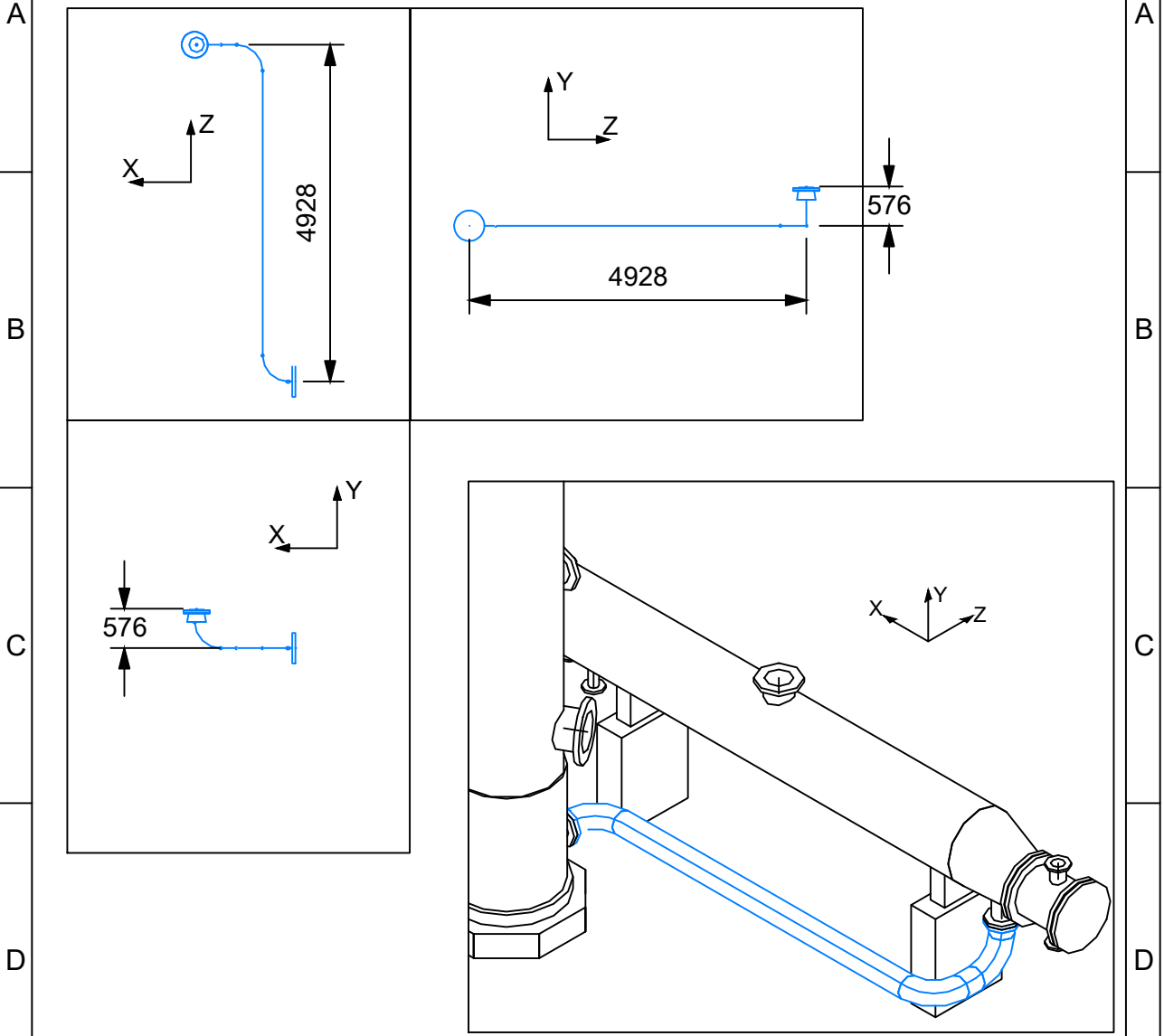


Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:200	1
ELBO	A300/EL90:200	4
FLAN	A300/WNRF:200	3
GASK	A300/GRF:200	3
TUBI	A300/P-STD:200	5
VALV	A300/GL-143:200	1



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo:	LÍNEA 1-C30-8"	REVISIÓN
1:100			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº:	Plano_TUBE_01	TAMAÑO
mm			A-4

LÍNEA 2-C30-10"
Acero A53 Gr-B

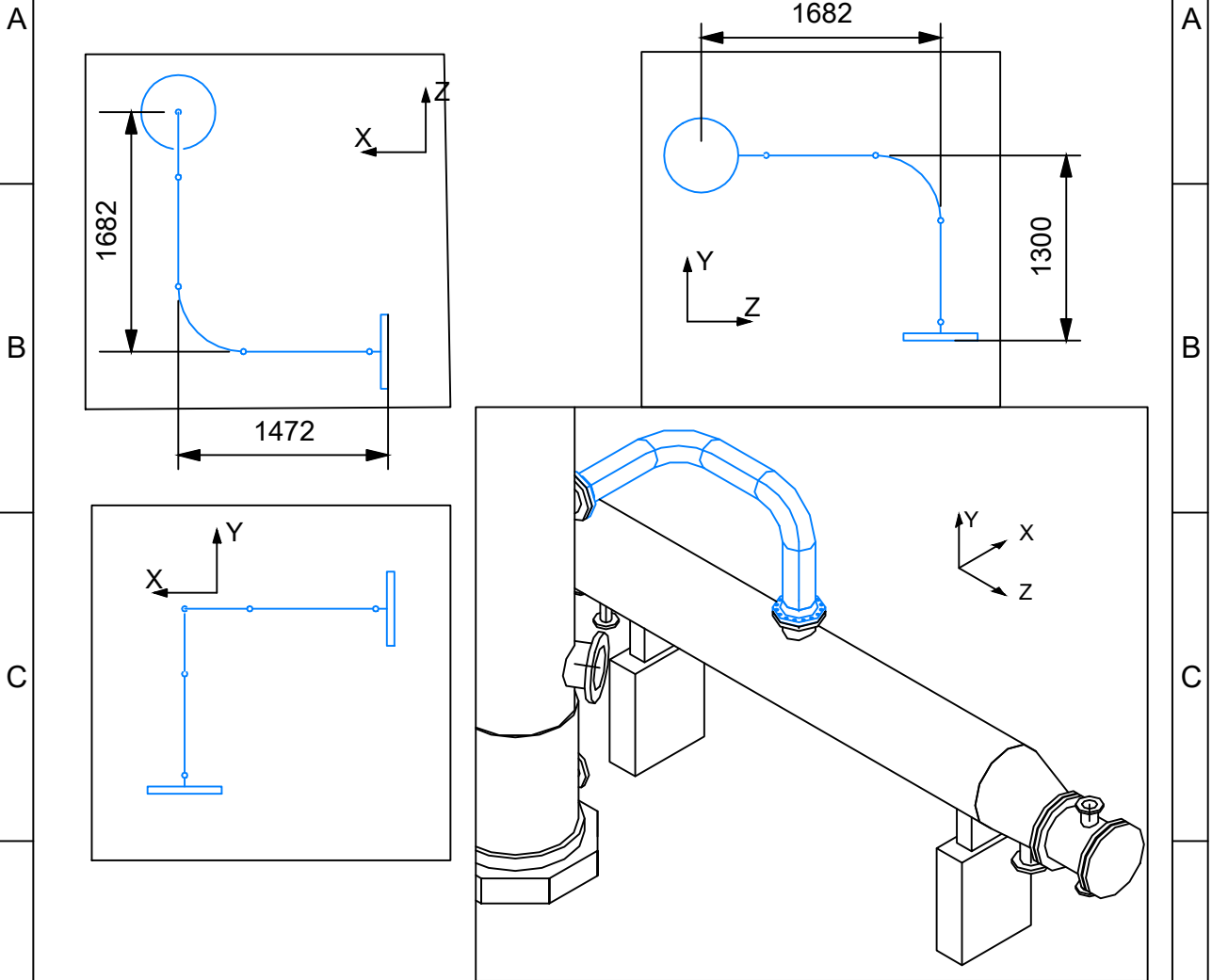


Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:200	1
ELBO	A300/EL90:200	4
FLAN	A300/WNRF:200	3
GASK	A300/GRF:200	3
TUBI	A300/P-STD:200	5
VALV	A300/GL-143:200	1



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo:	LÍNEA 2-C30-10"	REVISIÓN
1:100			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°:	Plano_TUBE_02	TAMAÑO
mm			A-4

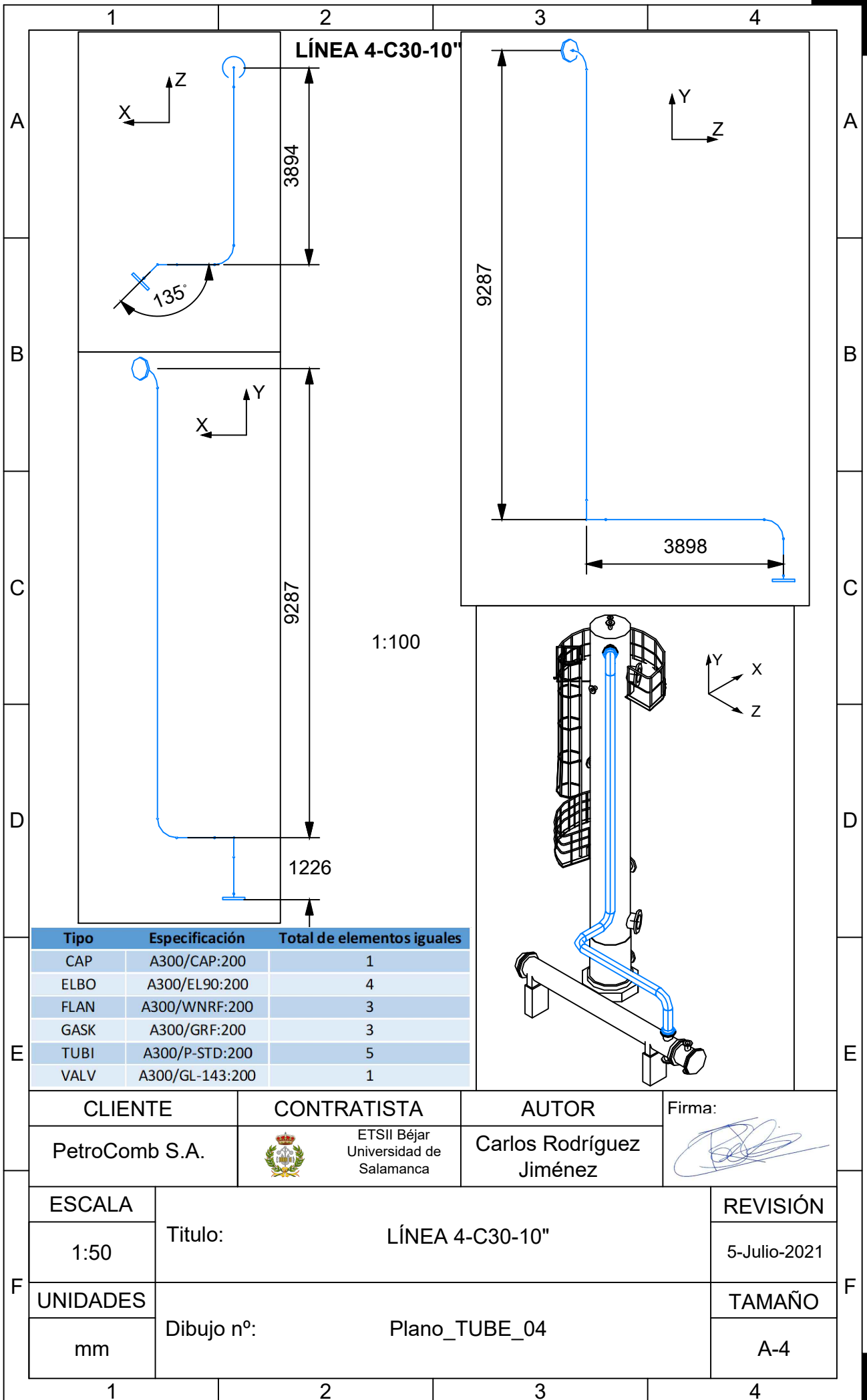
LÍNEA 3-C30-12"
Acero A53-B





Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:200	1
ELBO	A300/EL90:200	4
FLAN	A300/WNRF:200	3
GASK	A300/GRF:200	3
TUBI	A300/P-STD:200	5
VALV	A300/GL-143:200	1

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

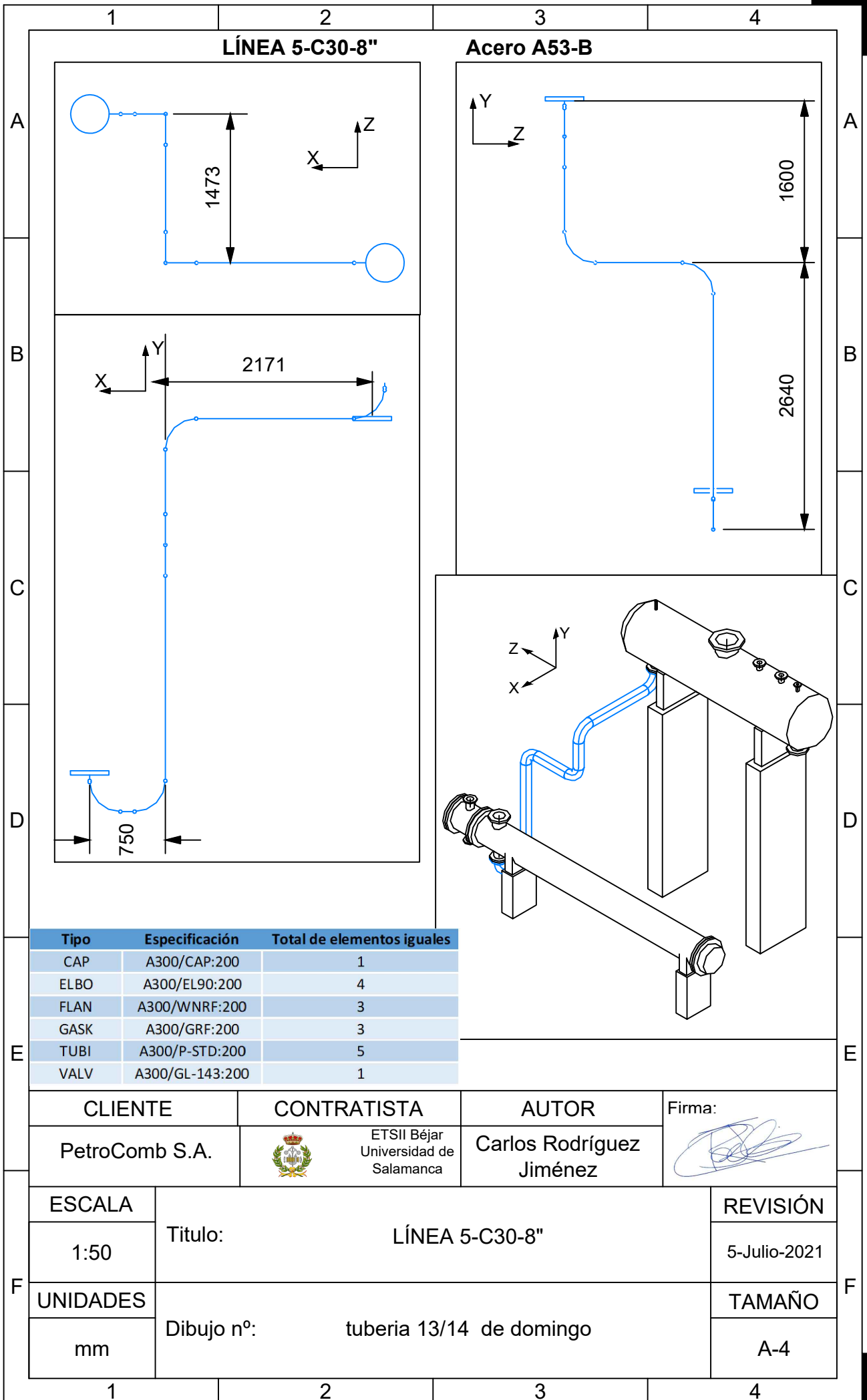
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora	REVISIÓN
1:50		5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : LÍNEA 3-C30-12"	TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_TUBE_03	A-4

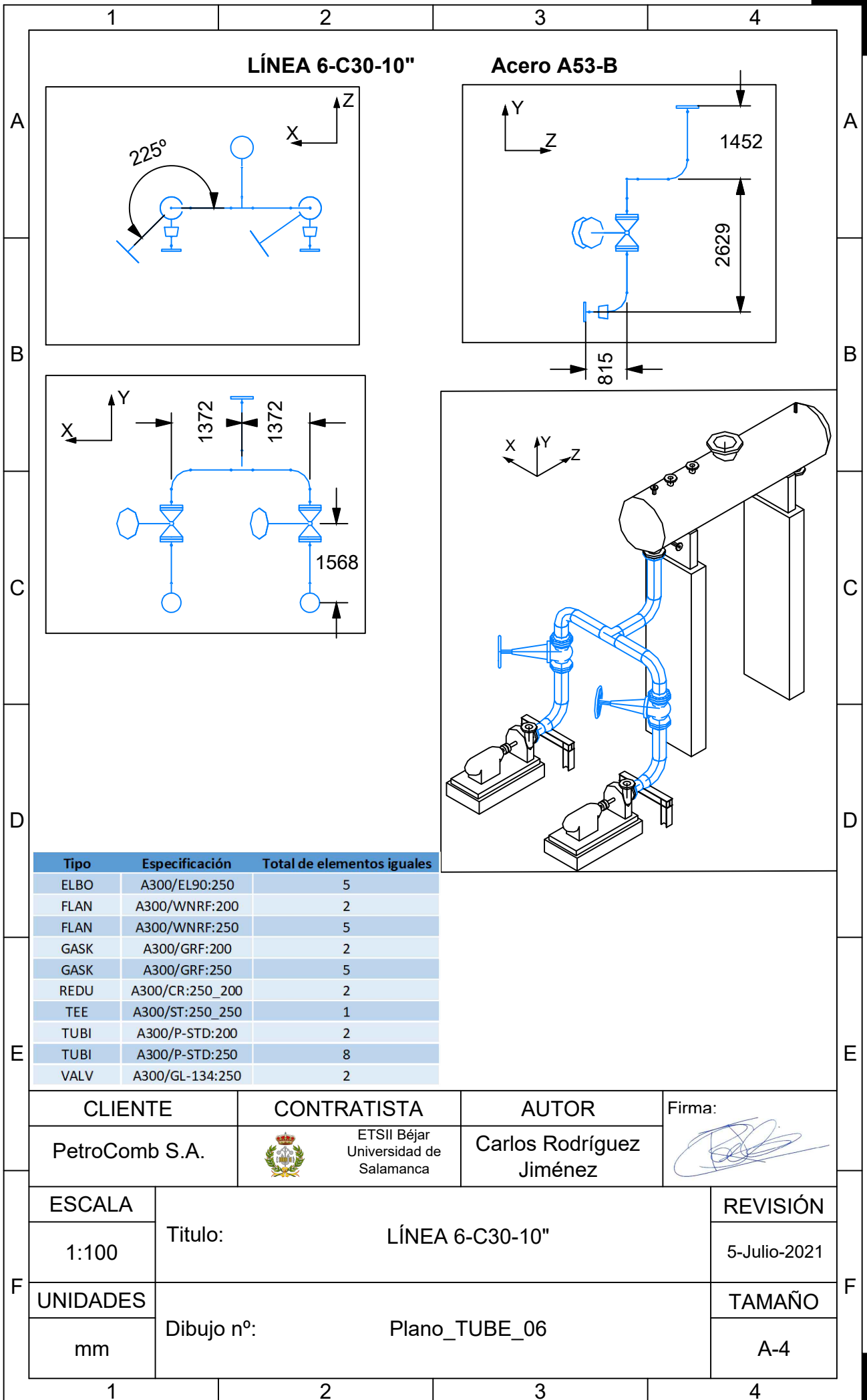


Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:200	1
ELBO	A300/EL90:200	4
FLAN	A300/WNRF:200	3
GASK	A300/GRF:200	3
TUBI	A300/P-STD:200	5
VALV	A300/GL-143:200	1

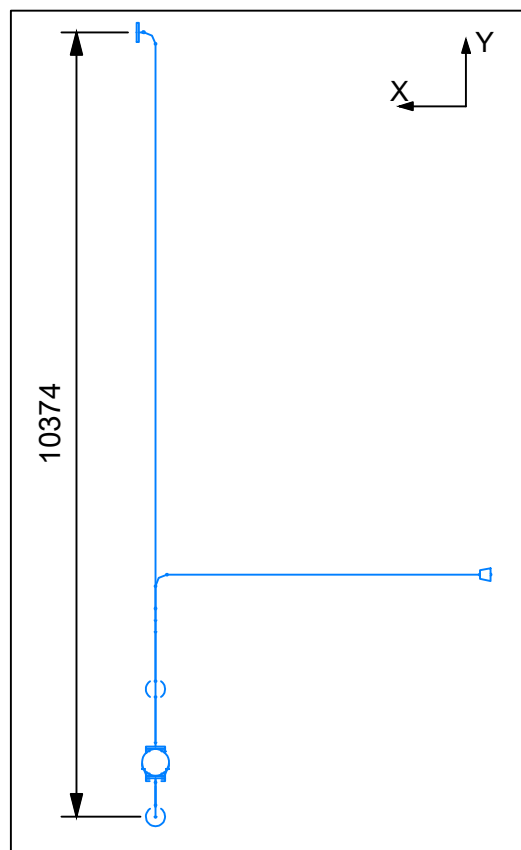
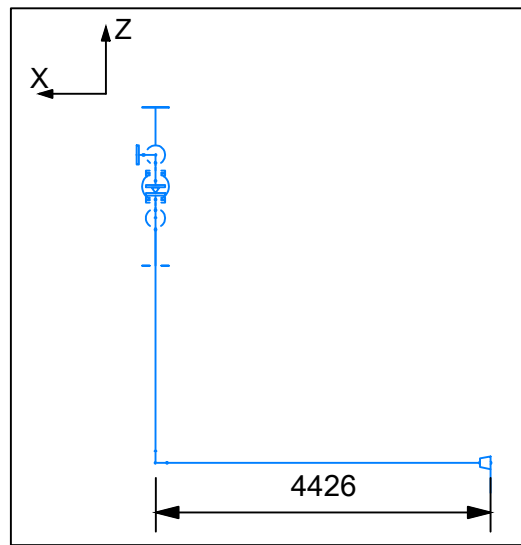
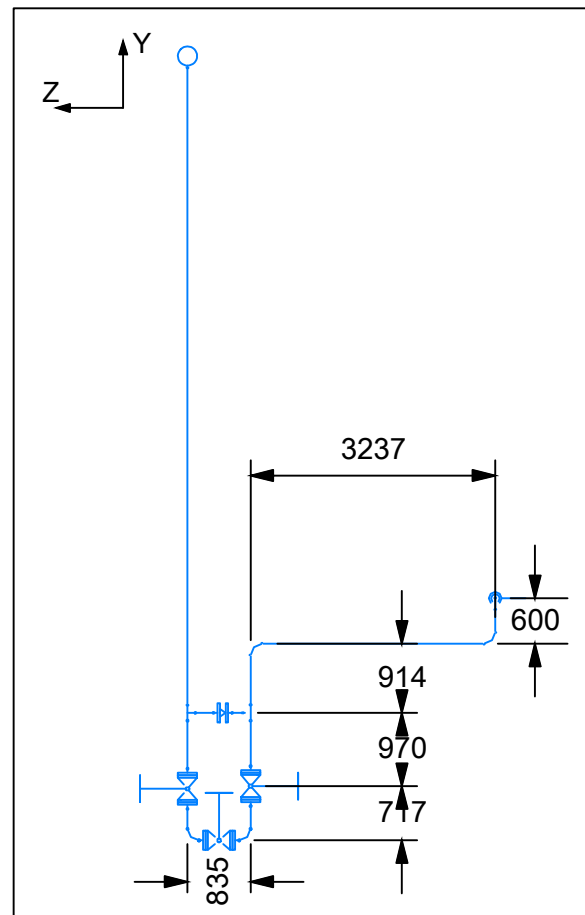
CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo:	LÍNEA 4-C30-10"	REVISIÓN
1:50			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°:	Plano_TUBE_04	TAMAÑO
mm			A-4



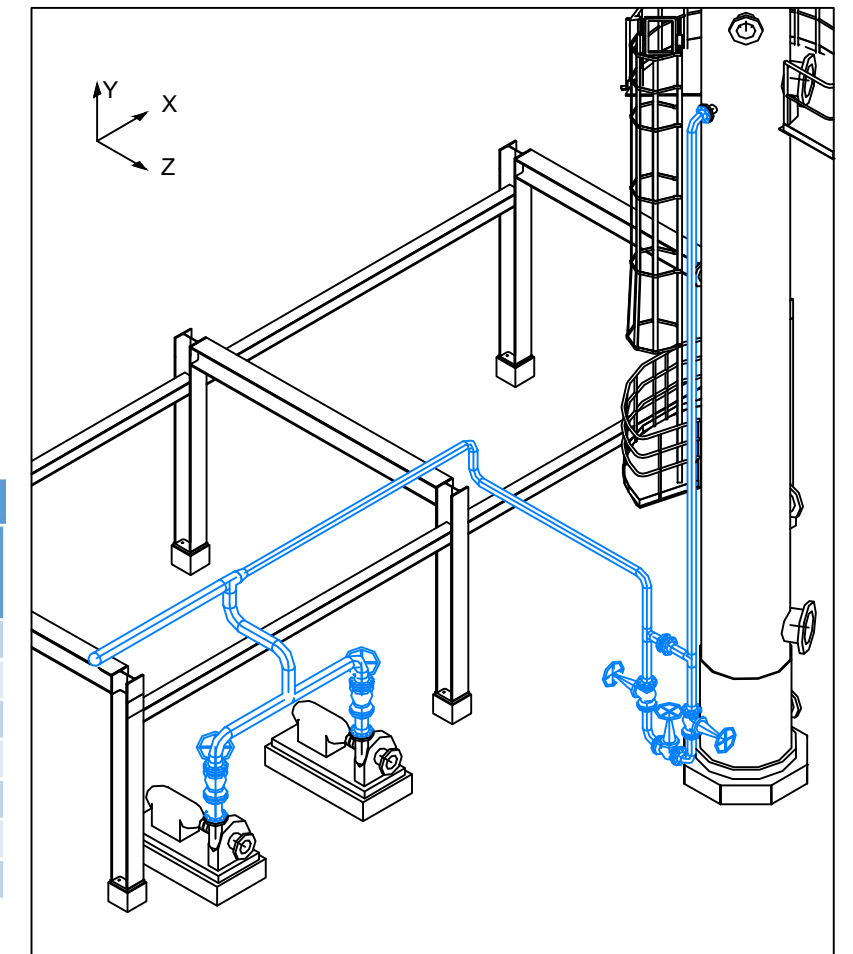
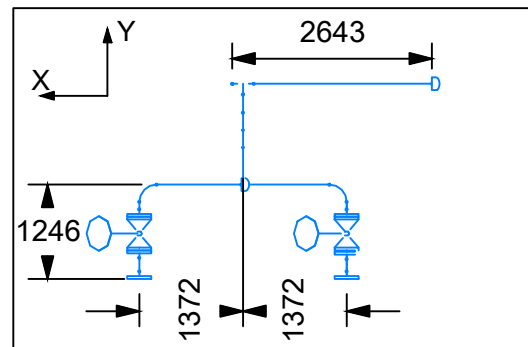
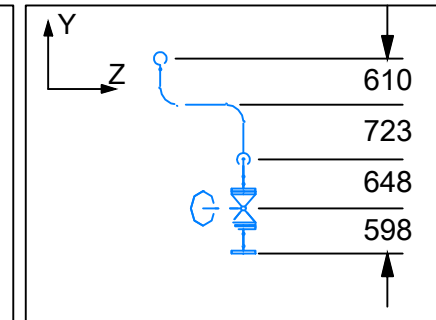
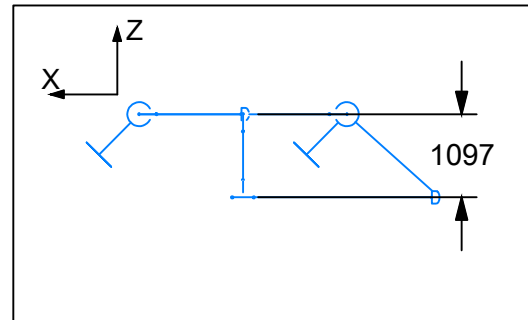


LÍNEA 7-C30-4" Acero A53B



Branch 7-C30-4"		
Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A300/EL90:100	6
FLAN	A300/WNRF:100	9
GASK	A300/GRF:100	9
REDU	A300/CR:150_100	1
TEE	A300/ST:100_100	2
TUBI	A300/P-STD:100	13
VALV	A300/GL-134:100	3
VALV	A300/CK-1518:100	1

LÍNEA 7-C30-6" Acero A53-B

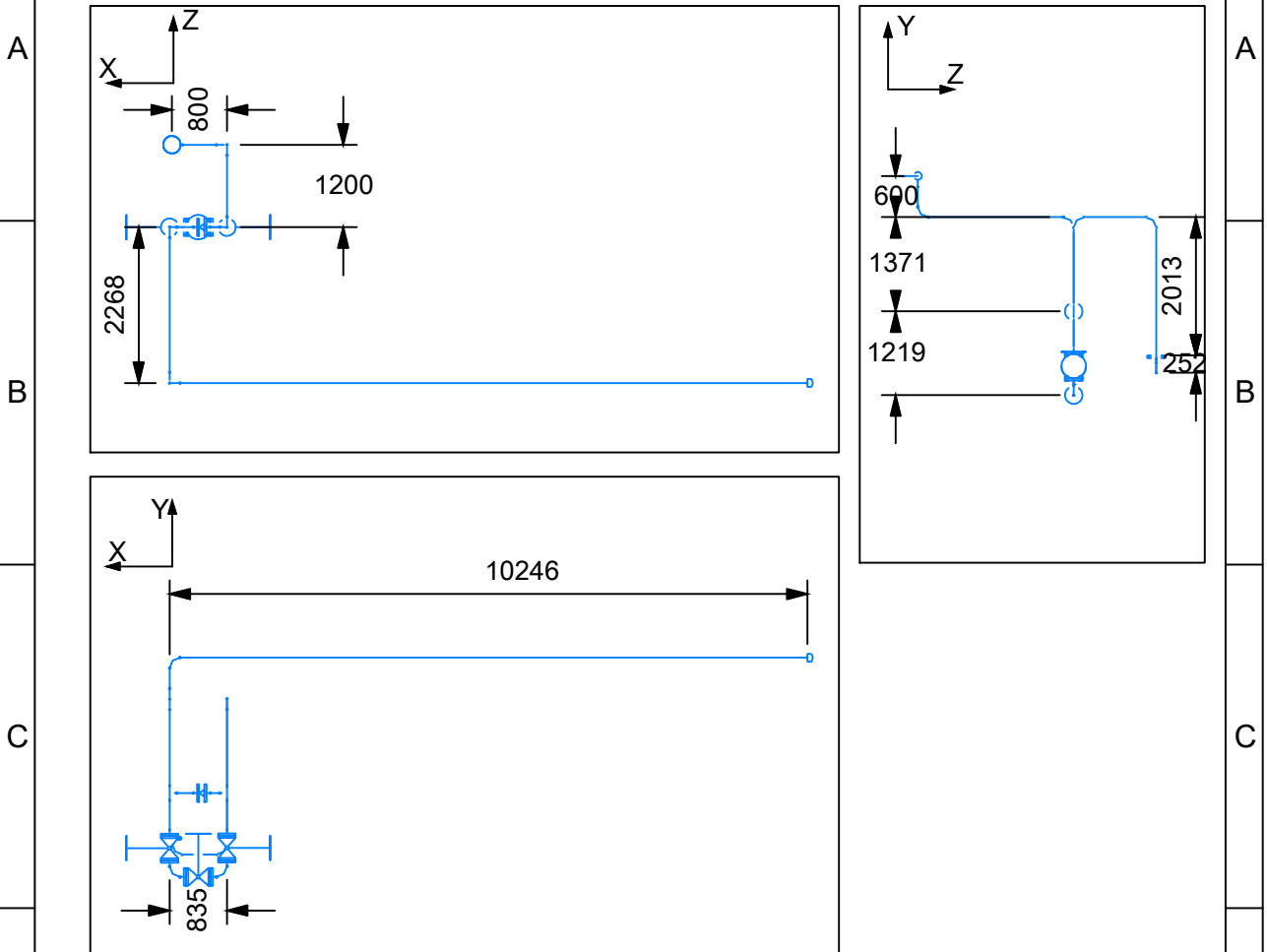


Branch 7-C30-6"		
Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:150	1
ELBO	A300/EL90:150	4
FLAN	A300/WNRF:150	5
GASK	A300/GRF:150	5
TEE	A300/ST:150_150	2
TUBI	A300/P-STD:150	9
VALV	A300/GL-134:150	2

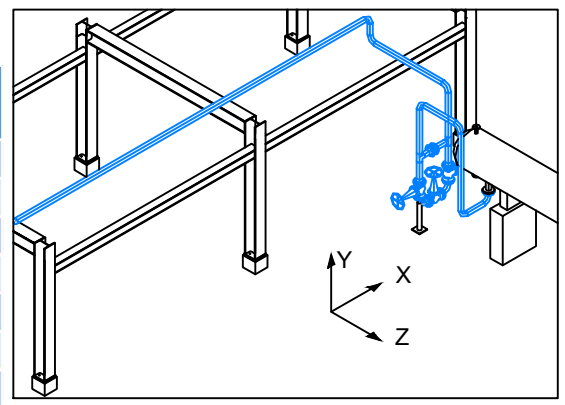
Notas:



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Titulo:		REVISIÓN
1:100	LINEA 7-C30-X"		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº:		TAMAÑO
mm	Plano_TUBE_07		A-3

LÍNEA 9-C30-4" Acero A53-B



Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:100	1
ELBO	A300/EL90:100	9
FLAN	A300/WNRF:100	10
GASK	A300/GRF:100	10
TEE	A300/ST:100_100	2
TUBI	A300/P-STD:100	14
VALV	A300/GL-134:100	3
VALV	A300/CK-1518:100	1

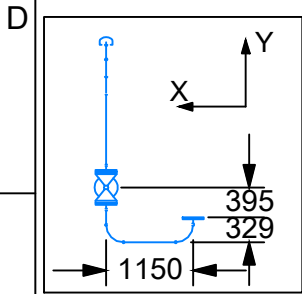
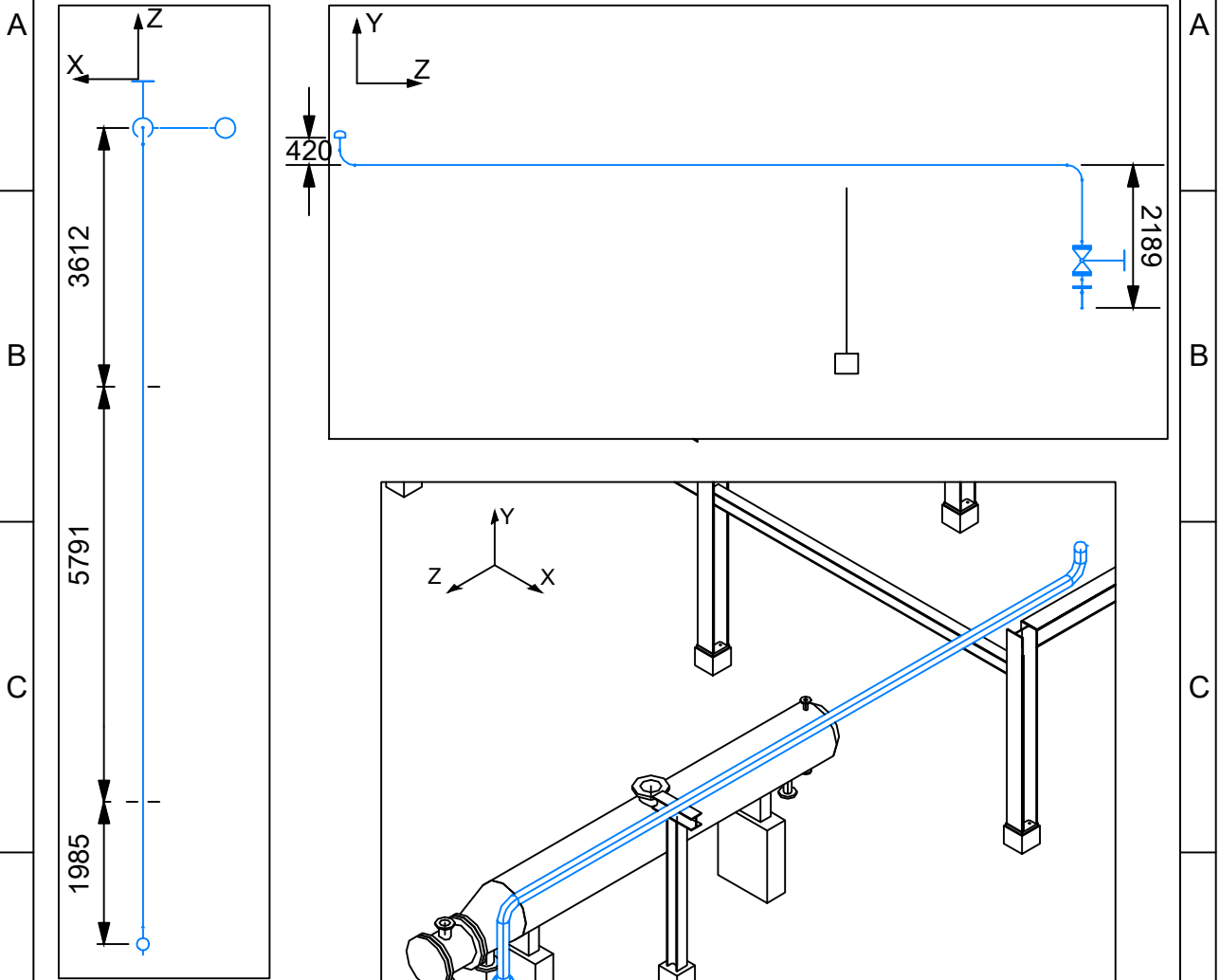


CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo:	LÍNEA 9-C30-4"	REVISIÓN
1:100			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°:	Plano_TUBE_08	TAMAÑO
mm			A-4

LÍNEA 10-A15-6"

Acero A53-B



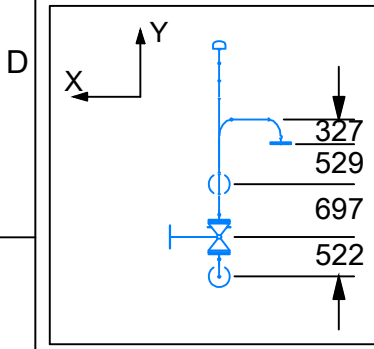
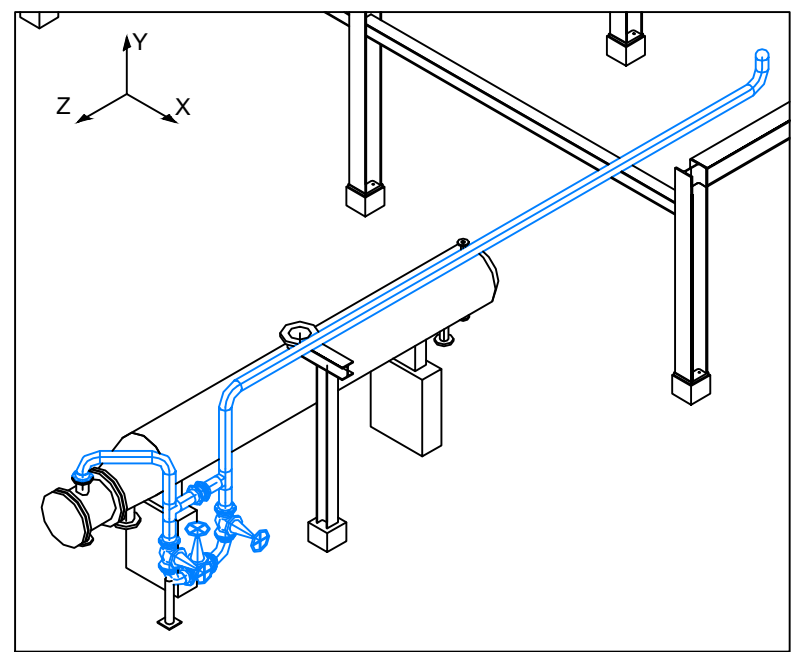
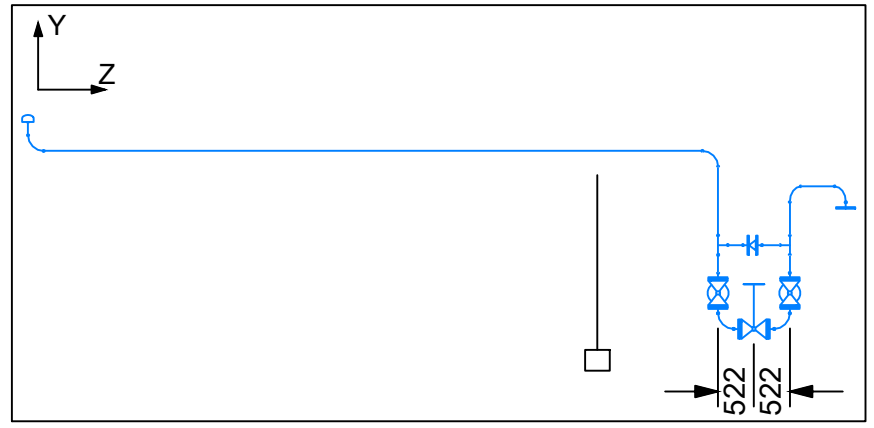
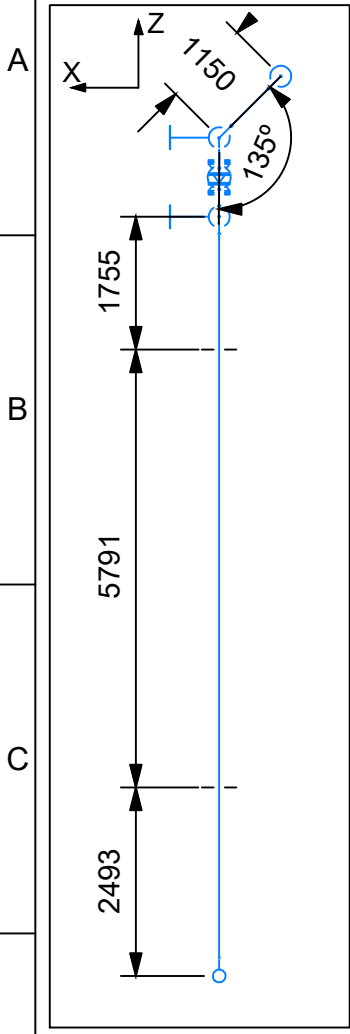
Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	4
FLAN	A150/WNRF:150	1
GASK	A150/GRF:150	1
TUBI	A150/P-STD:150	5

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo: LÍNEA 10-A15-6"	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_TUBE_09	TAMAÑO
mm		A-4

LÍNEA 11-A15-6"

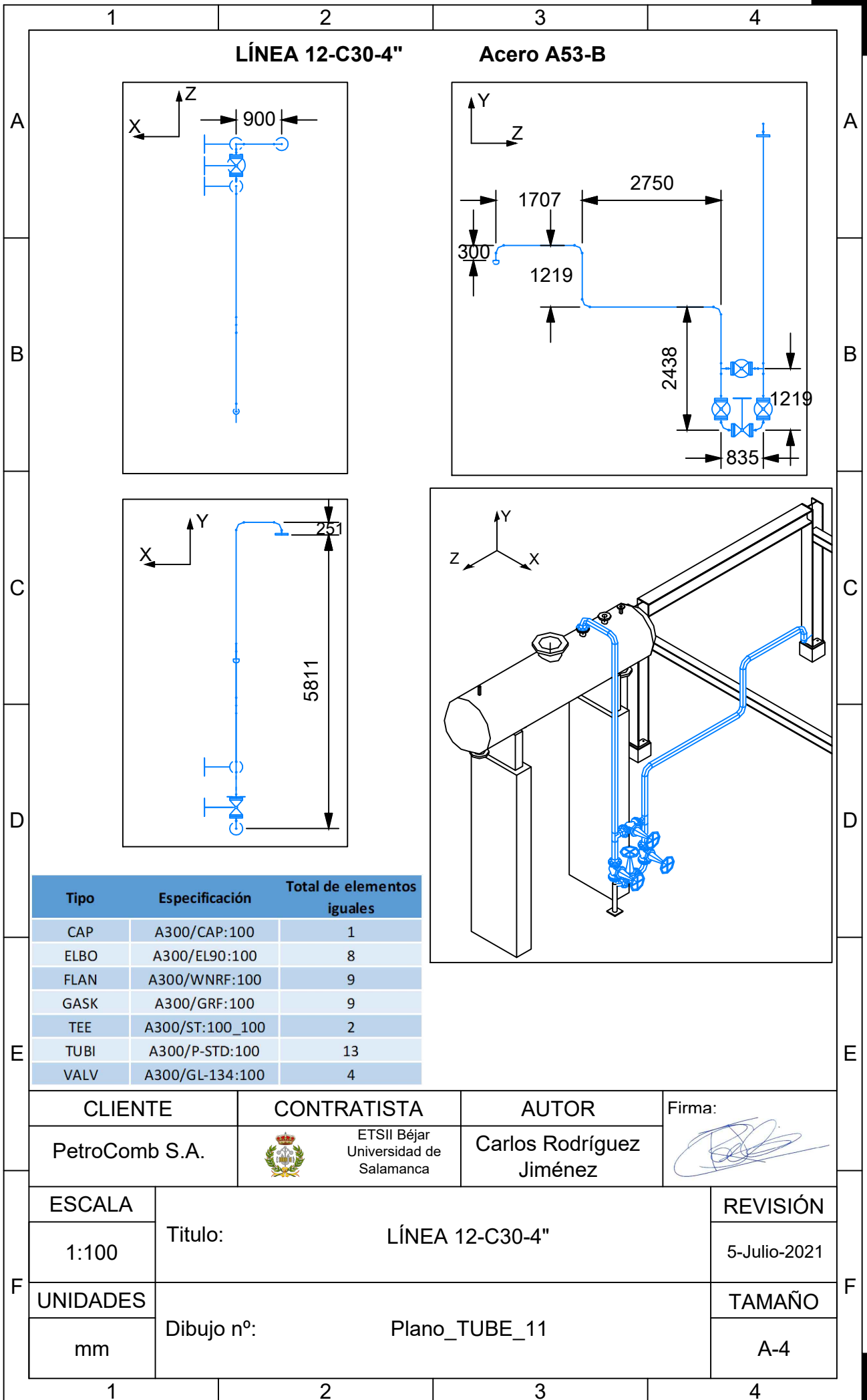
Acero A53-B



Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	6
FLAN	A150/WNRF:150	9
GASK	A150/GRF:150	9
TEE	A150/ST:150_150	2
TUBI	A150/P-STD:150	11
VALV	A150/GL-143:150	4

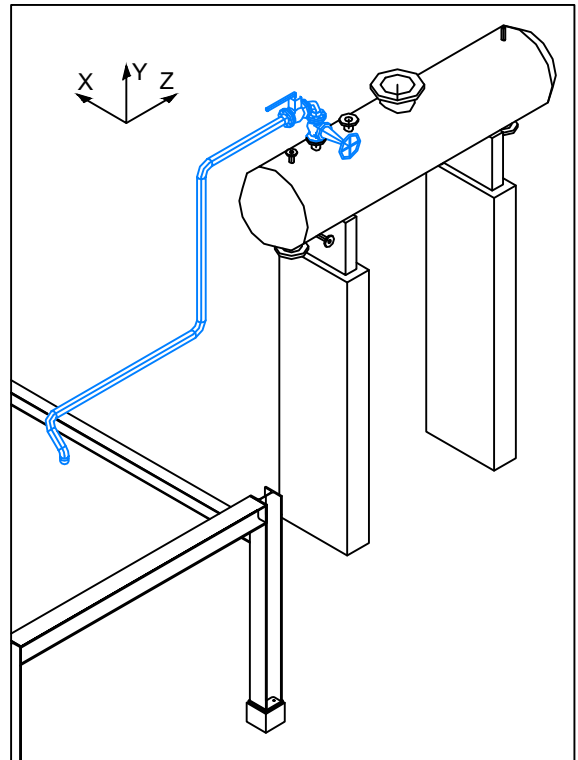
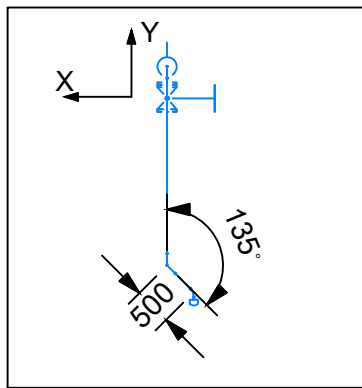
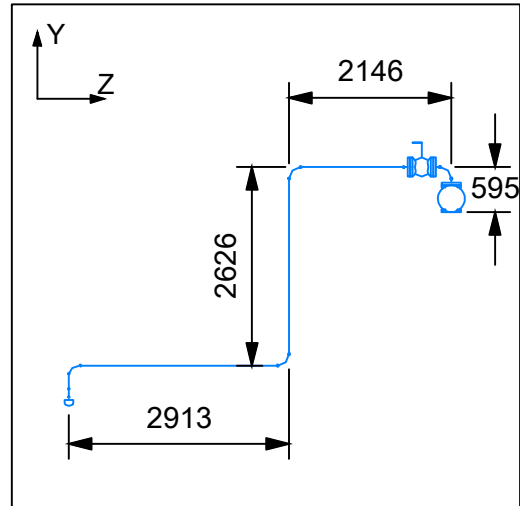
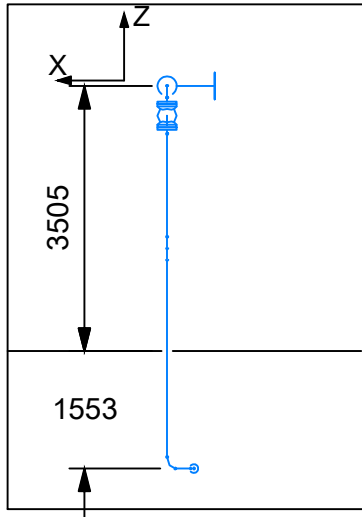
CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo: LÍNEA 11-A15-6"	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_TUBE_10	TAMAÑO
mm		A-4





LÍNEA 13-A15-6"

Acero A53-B



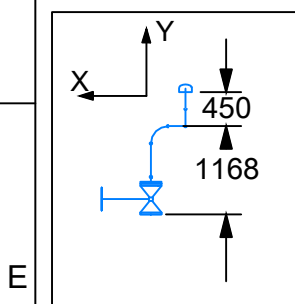
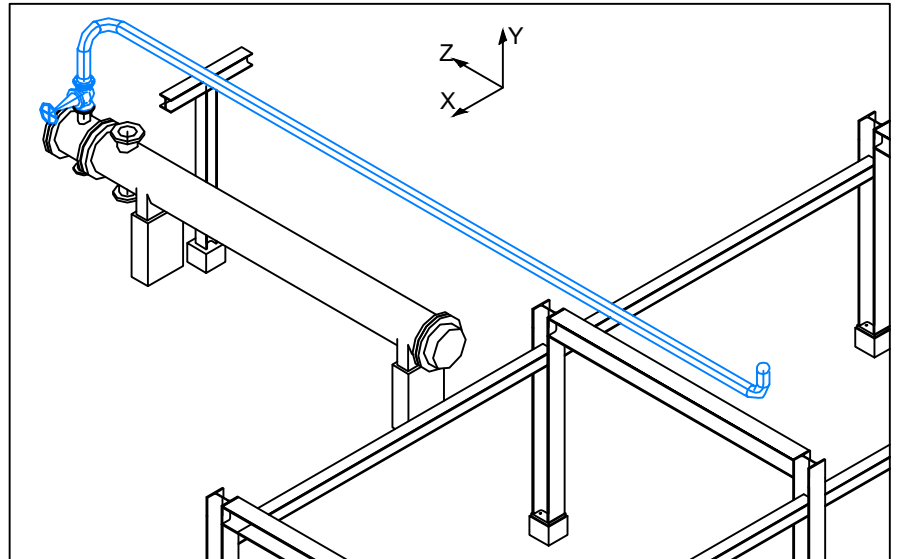
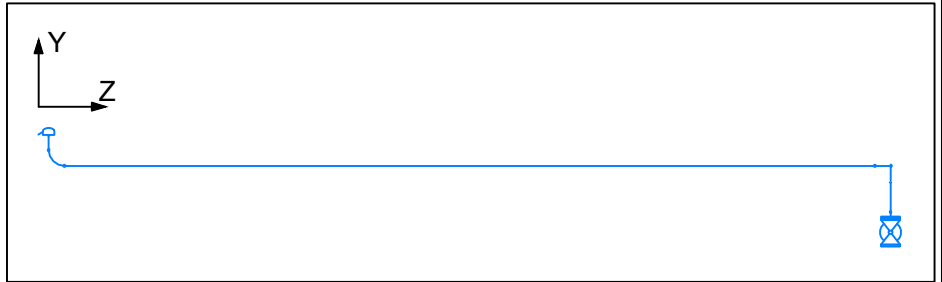
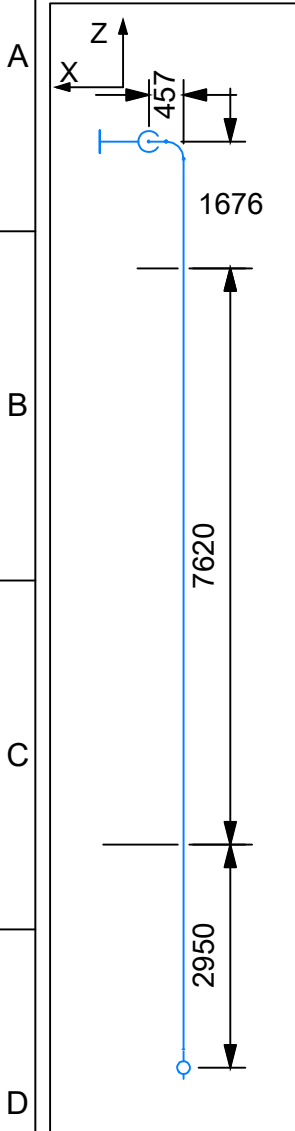
Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:100	1
ELBO	A300/EL90:100	4
ELBO	A300/EL45:100	1
FLAN	A300/WNRF:100	4
GASK	A300/GRF:100	5
TUBI	A300/P-STD:100	5
VALV	A300/ BS4460100	1
VALV	A300/GL-134:100	1

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	



ESCALA	Titulo: LÍNEA 13-A15-6"	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_TUBI_12	TAMAÑO
mm		A-4

LÍNEA 14-A15-6"

Acero A53-B



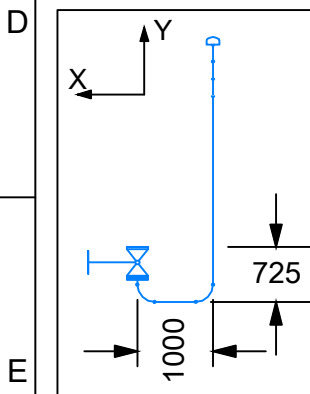
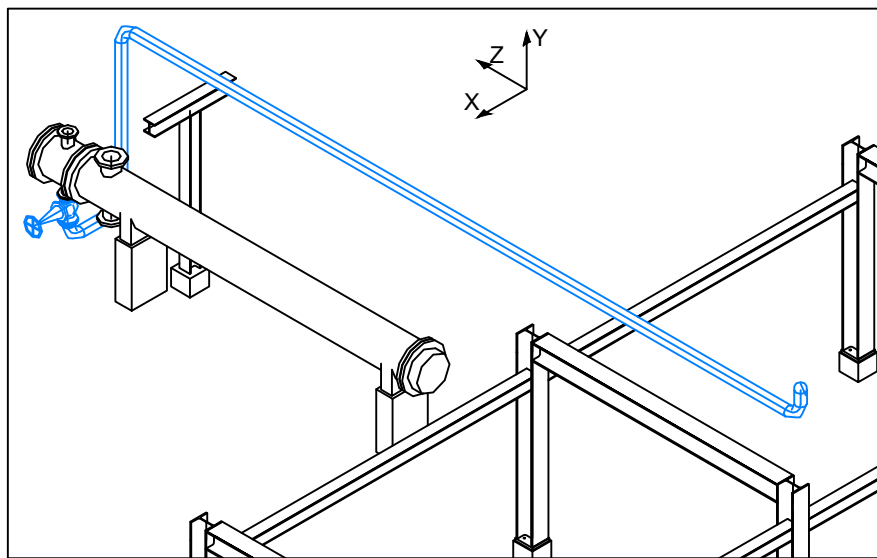
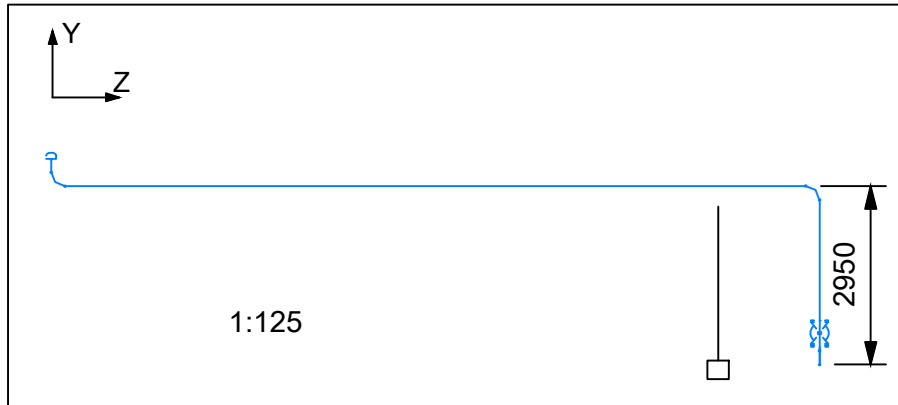
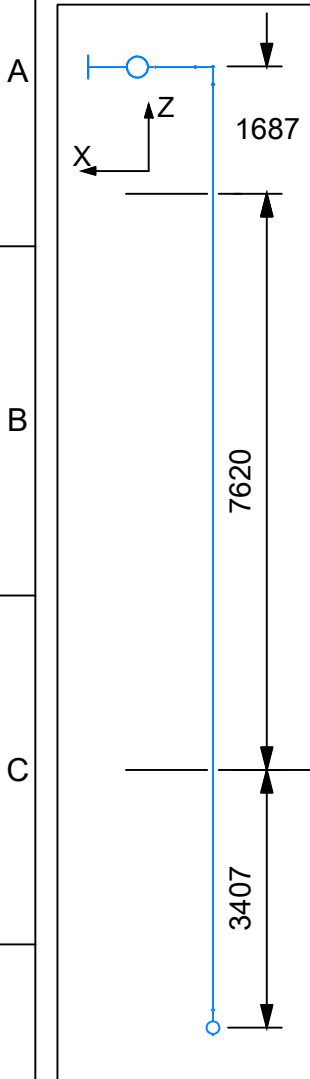
Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	3
FLAN	A150/WNRF:150	2
GASK	A150/GRF:150	2
TUBI	A150/P-STD:150	4
VALV	A150/GL-143:150	1

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo: LÍNEA 14-A15-6"	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_TUBE_13	TAMAÑO
mm		A-4

LÍNEA 15-A15-6"

Acero A53-B

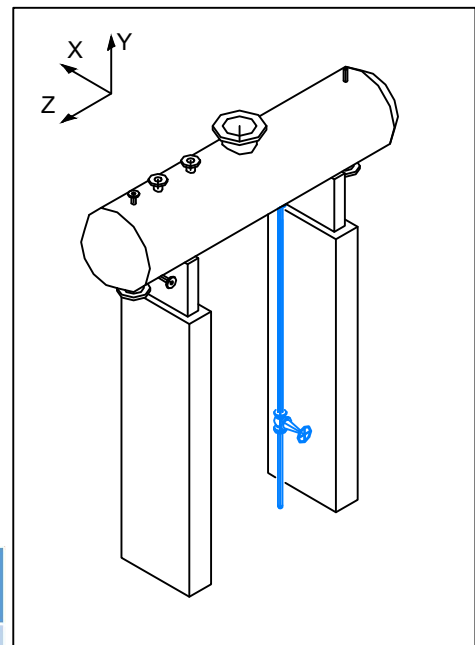
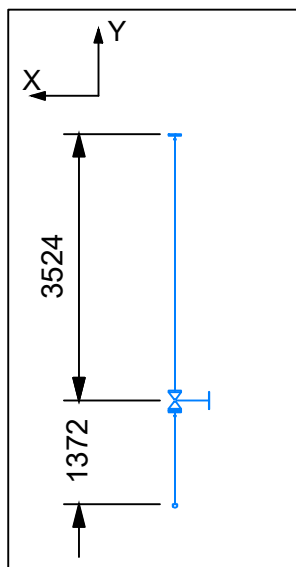
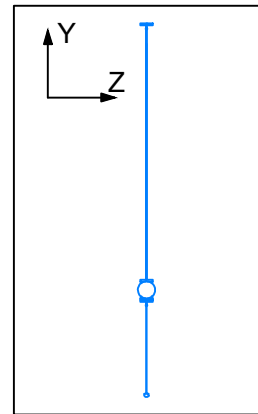
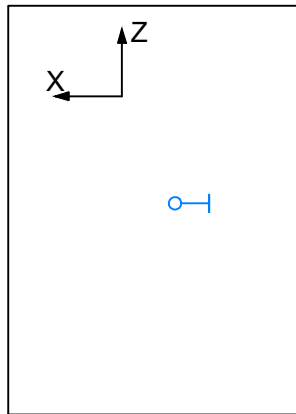


Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:150	1
ELBO	A150/EL90:150	4
FLAN	A150/WNRF:150	2
GASK	A150/GRF:150	3
TUBI	A150/P-STD:150	5
VALV	A150/GL-143:150	1



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo: LÍNEA 15-A15-6"	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_TUBE_14	TAMAÑO
mm		A-4

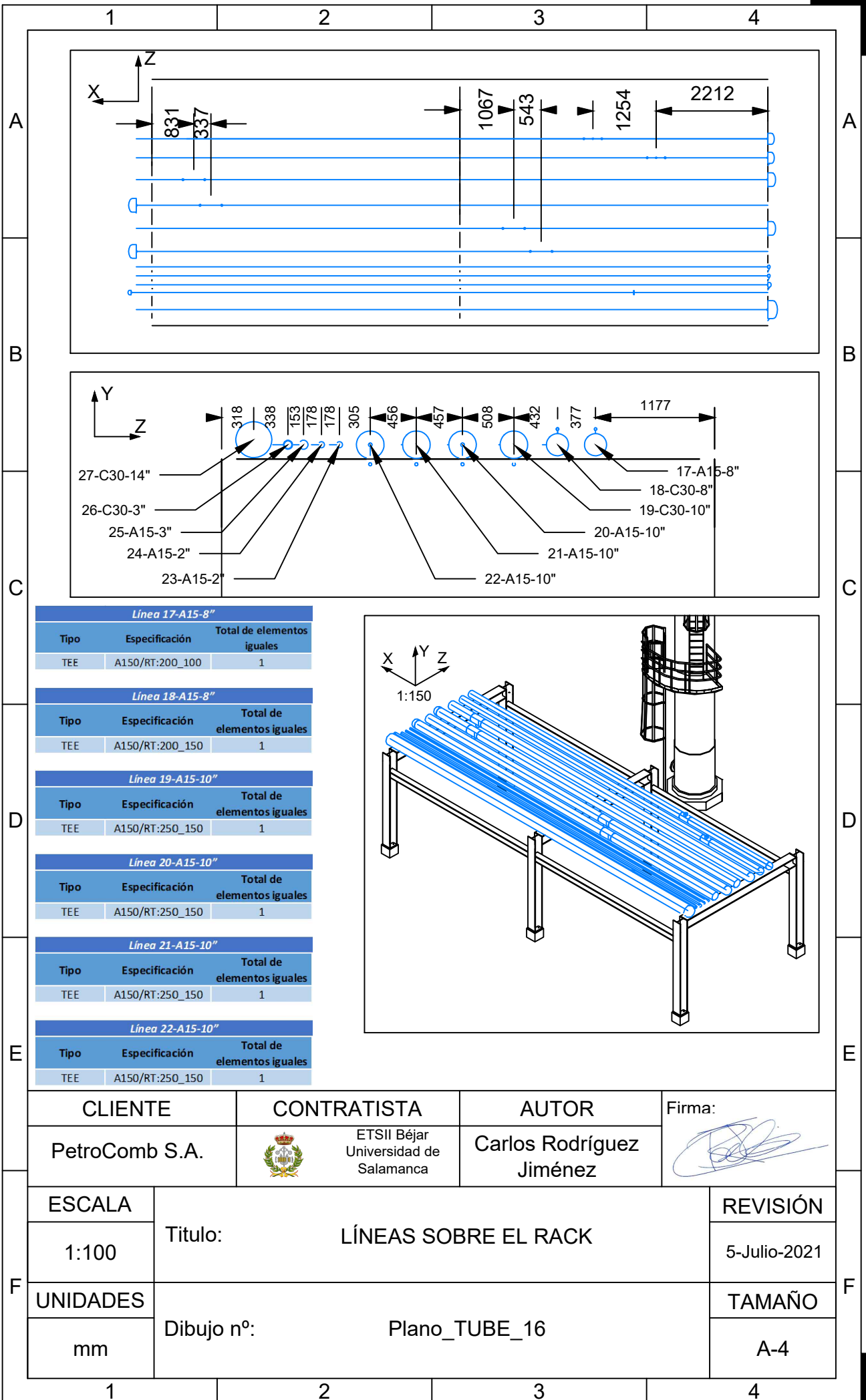
LÍNEA 16-C30-2"
Acero A53 Grado B





Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A300/CAP:50	1
FLAN	A300/WNRF:50	2
GASK	A300/GRF:50	3
TUBI	A300/P-STD:50	3
VALV	A300/GL-134:50	1

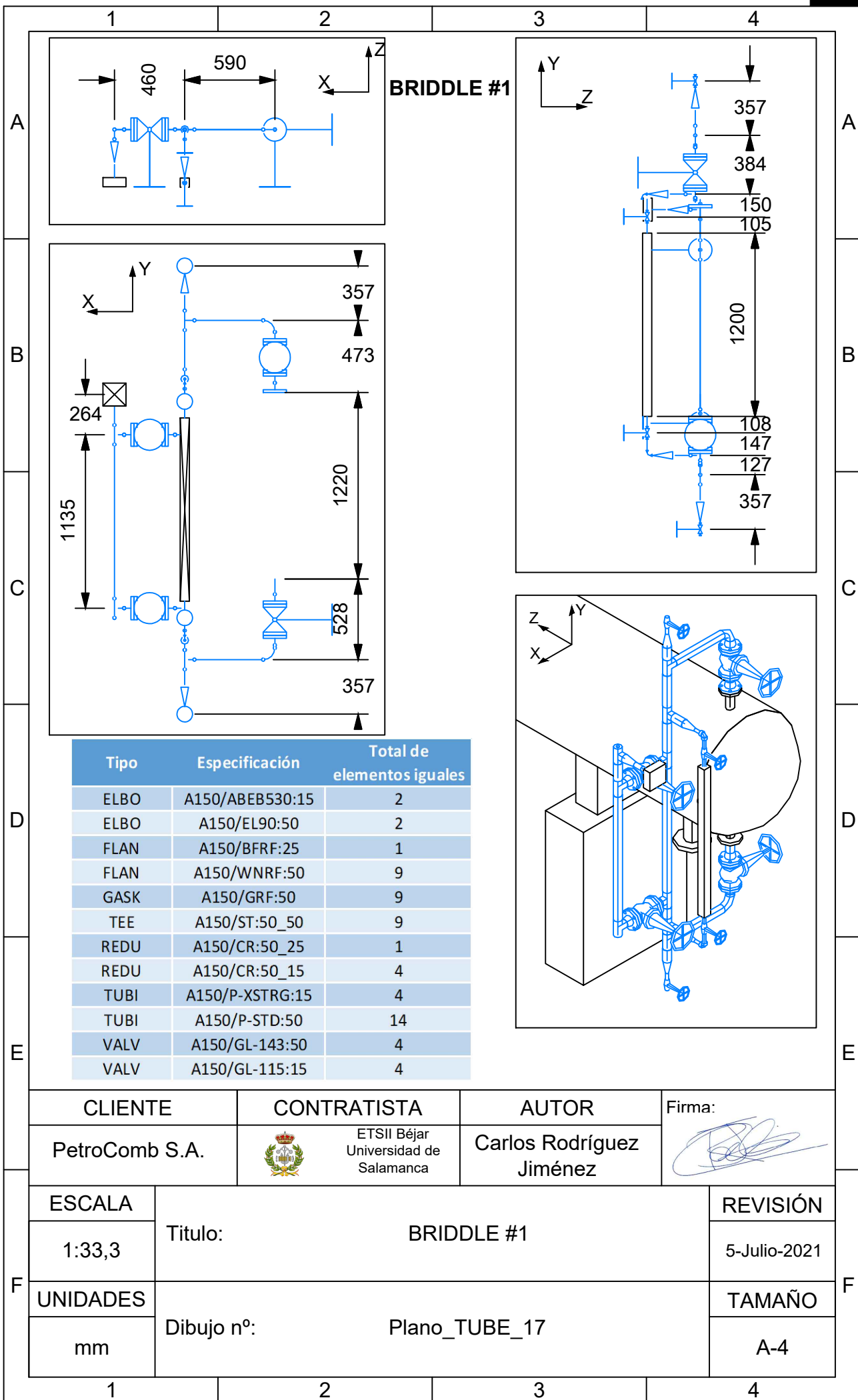
CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Título:	LÍNEA 16-C30-2"	REVISIÓN
1:100			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°:	Plano_TUBE_15	TAMAÑO
mm			A-4





CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

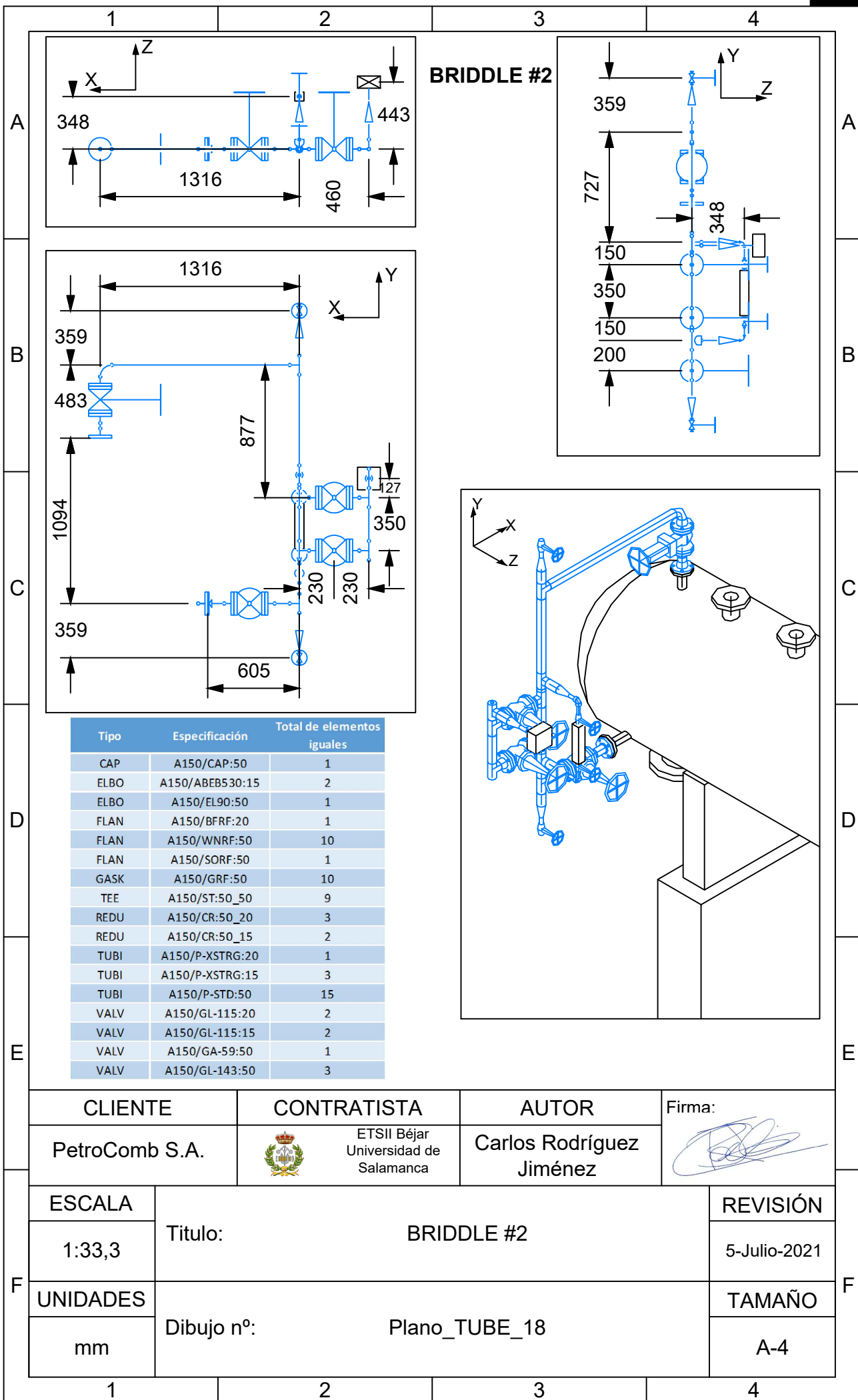
ESCALA	Título: LÍNEAS SOBRE EL RACK	REVISIÓN
1:100		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_TUBE_16	TAMAÑO
mm		A-4



Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
ELBO	A150/ABEB530:15	2
ELBO	A150/EL90:50	2
FLAN	A150/BFRF:25	1
FLAN	A150/WNRF:50	9
GASK	A150/GRF:50	9
TEE	A150/ST:50_50	9
REDU	A150/CR:50_25	1
REDU	A150/CR:50_15	4
TUBI	A150/P-XSTRG:15	4
TUBI	A150/P-STD:50	14
VALV	A150/GL-143:50	4
VALV	A150/GL-115:15	4

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Titulo: BRIDDLE #1	REVISIÓN
1:33,3		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_TUBE_17	TAMAÑO
mm		A-4



Tipo	Especificación	Total de elementos iguales
CAP	A150/CAP:50	1
ELBO	A150/ABEB530:15	2
ELBO	A150/EL90:50	1
FLAN	A150/BFRF:20	1
FLAN	A150/WNRF:50	10
FLAN	A150/SORF:50	1
GASK	A150/GRF:50	10
TEE	A150/ST:50_50	9
REDU	A150/CR:50_20	3
REDU	A150/CR:50_15	2
TUBI	A150/P-XSTRG:20	1
TUBI	A150/P-XSTRG:15	3
TUBI	A150/P-STD:50	15
VALV	A150/GL-115:20	2
VALV	A150/GL-115:15	2
VALV	A150/GA-59:50	1
VALV	A150/GL-143:50	3

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

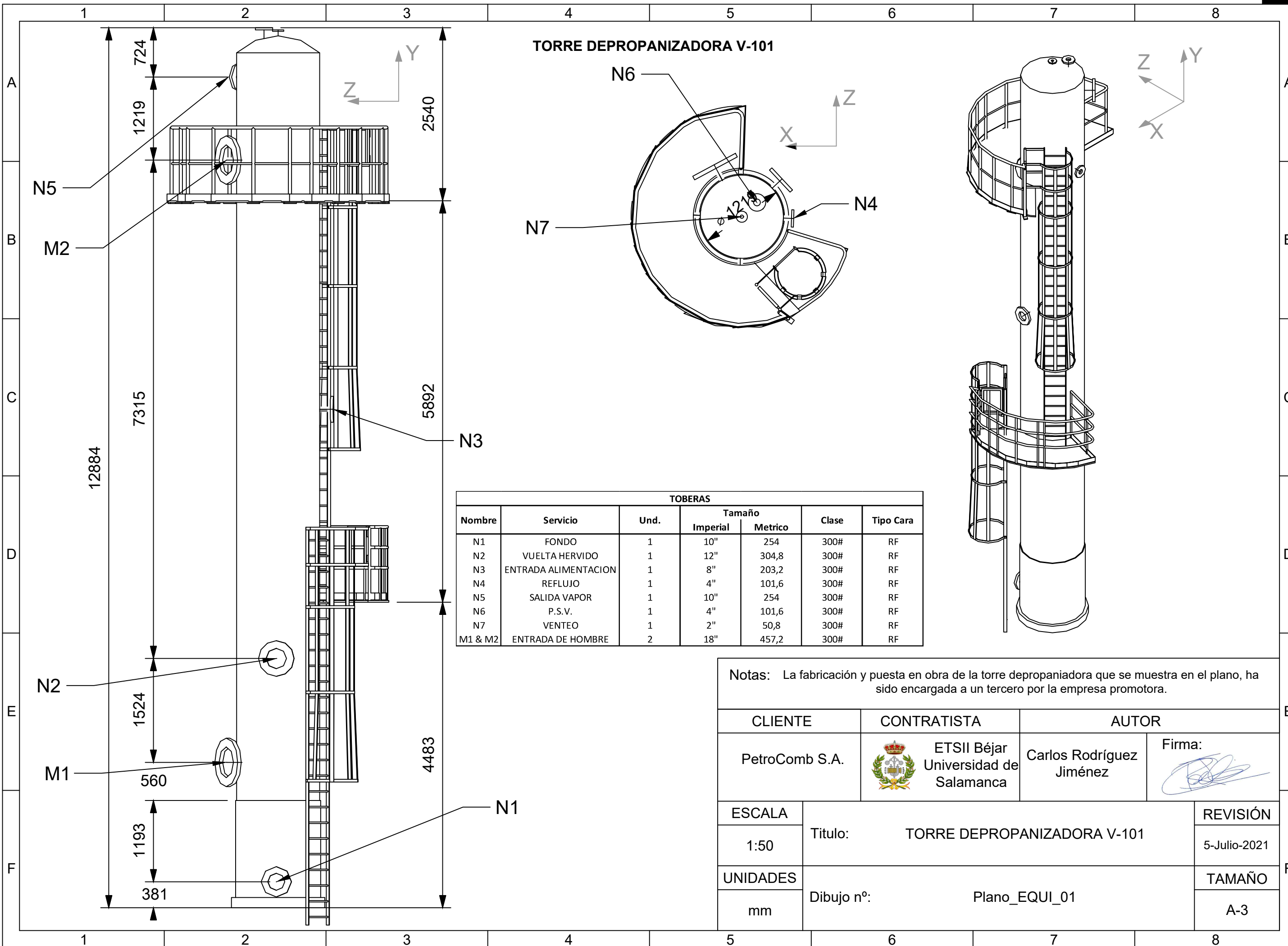
ESCALA	Titulo: BRIDDLE #2	REVISIÓN
1:33,3		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_TUBE_18	TAMAÑO
mm		A-4



9.3. Planos equipos:

- Plano_EQUI_01 → Torre depropanizadora V-101
- Plano_EQUI_02 → Intercambiador hervidor E-101
- Plano_EQUI_03 → Intercambiador condensador E-102
- Plano_EQUI_04 → Deposito acumulador V-101
- Plano_EQUI_05 → Bombas P-101 A & P-101 B

TORRE DEPROPANIZADORA V-101

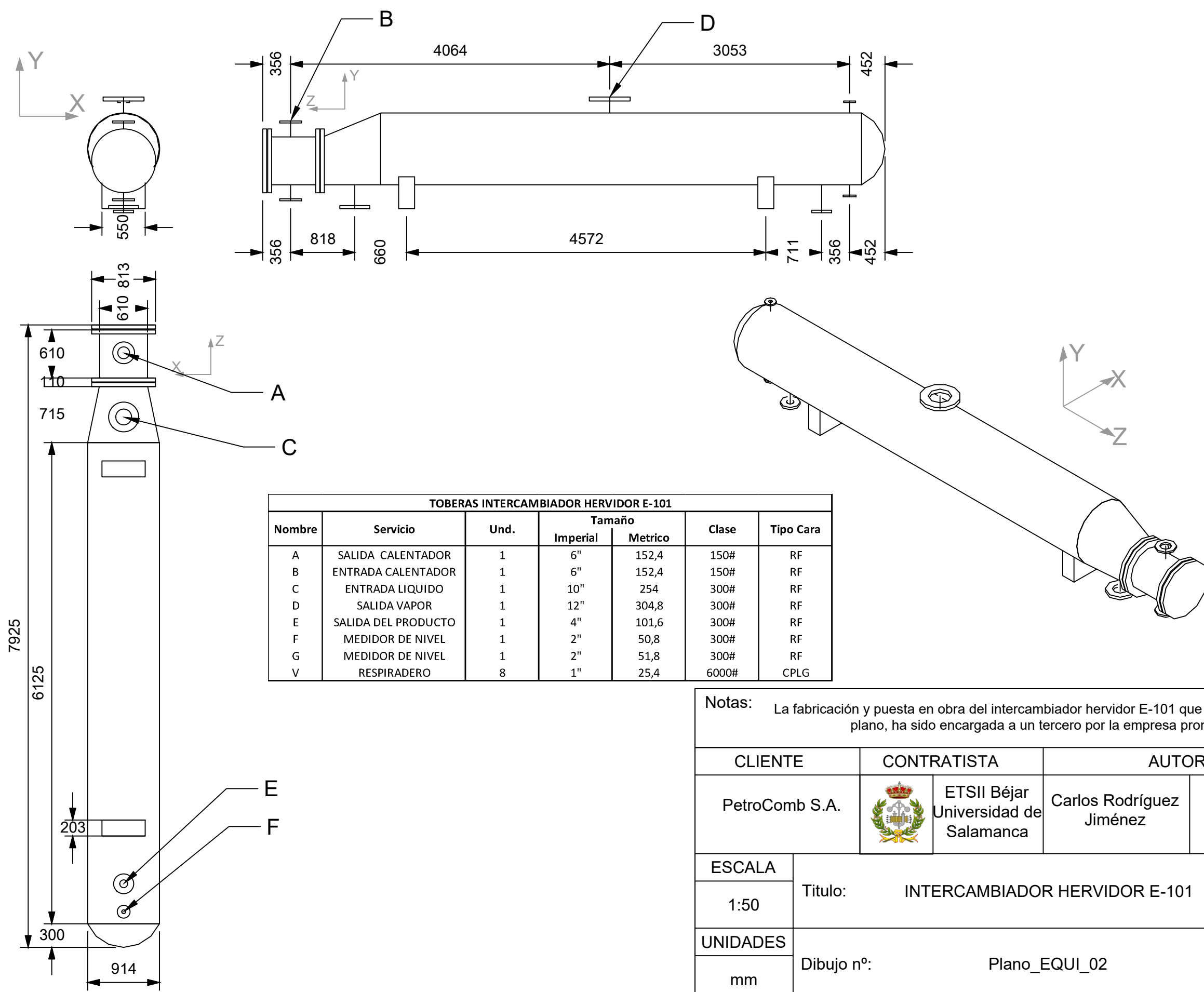


TOBERAS						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
N1	FONDO	1	10"	254	300#	RF
N2	VUELTA HERVIDO	1	12"	304,8	300#	RF
N3	ENTRADA ALIMENTACION	1	8"	203,2	300#	RF
N4	REFLUJO	1	4"	101,6	300#	RF
N5	SALIDA VAPOR	1	10"	254	300#	RF
N6	P.S.V.	1	4"	101,6	300#	RF
N7	VENTEO	1	2"	50,8	300#	RF
M1 & M2	ENTRADA DE HOMBRE	2	18"	457,2	300#	RF

Notas: La fabricación y puesta en obra de la torre depropaniadora que se muestra en el plano, ha sido encargada a un tercero por la empresa promotora.



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Titulo: TORRE DEPROPANIZADORA V-101		REVISIÓN
1:50			5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_EQUI_01		TAMAÑO
mm			A-3

INTERCAMBIADOR HERVIDOR E-101



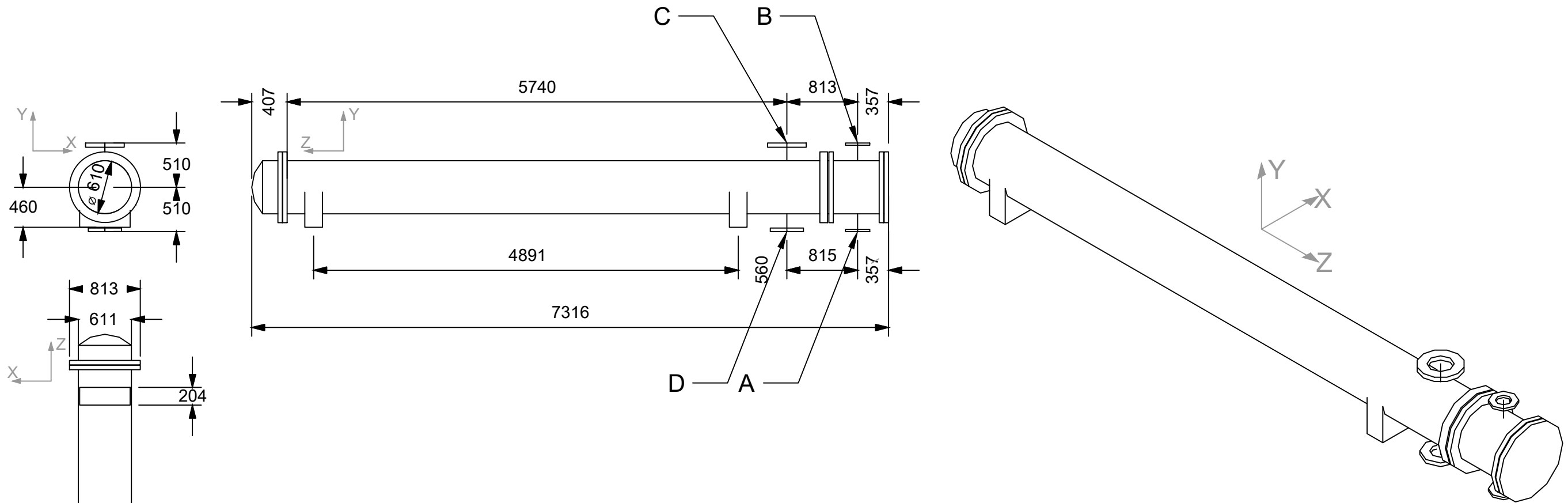
TOBERAS INTERCAMBIADOR HERVIDOR E-101						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
A	SALIDA CALENTADOR	1	6"	152,4	150#	RF
B	ENTRADA CALENTADOR	1	6"	152,4	150#	RF
C	ENTRADA LIQUIDO	1	10"	254	300#	RF
D	SALIDA VAPOR	1	12"	304,8	300#	RF
E	SALIDA DEL PRODUCTO	1	4"	101,6	300#	RF
F	MEDIDOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
G	MEDIDOR DE NIVEL	1	2"	51,8	300#	RF
V	RESPIRADERO	8	1"	25,4	6000#	CPLG

Notas: La fabricación y puesta en obra del intercambiador hervidor E-101 que se muestra en este plano, ha sido encargada a un tercero por la empresa promotora.

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma: 



ESCALA	Título:	REVISIÓN
1:50	INTERCAMBIADOR HERVIDOR E-101	5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº:	TAMAÑO
mm	Plano_EQUI_02	A-3

INTERCAMBIADOR CONDENSADOR E-102



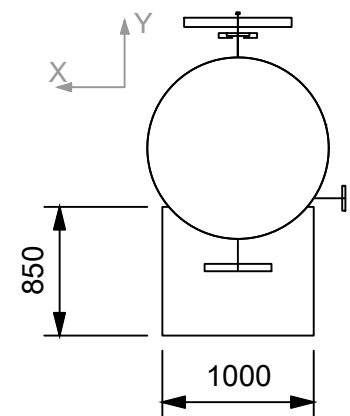
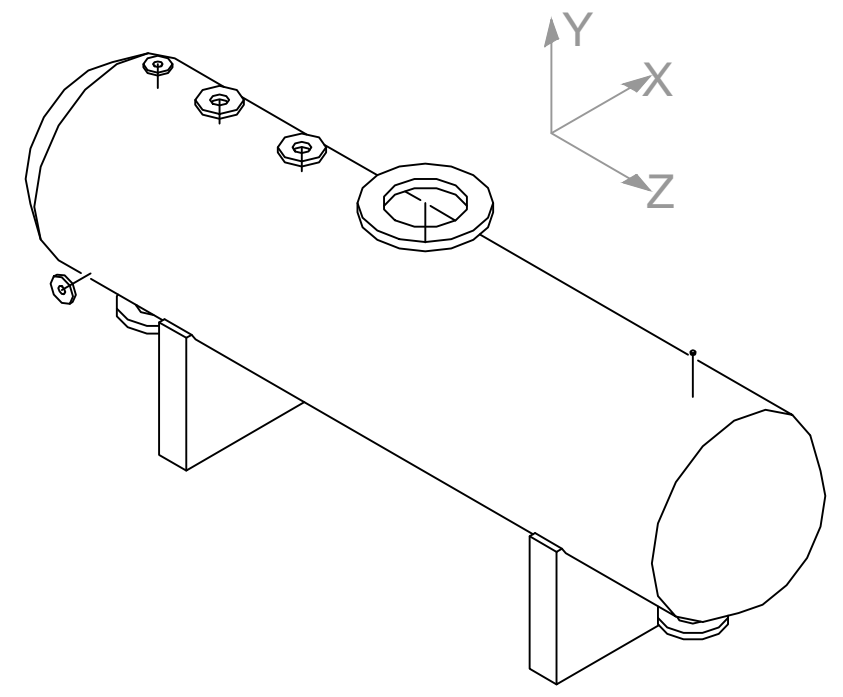
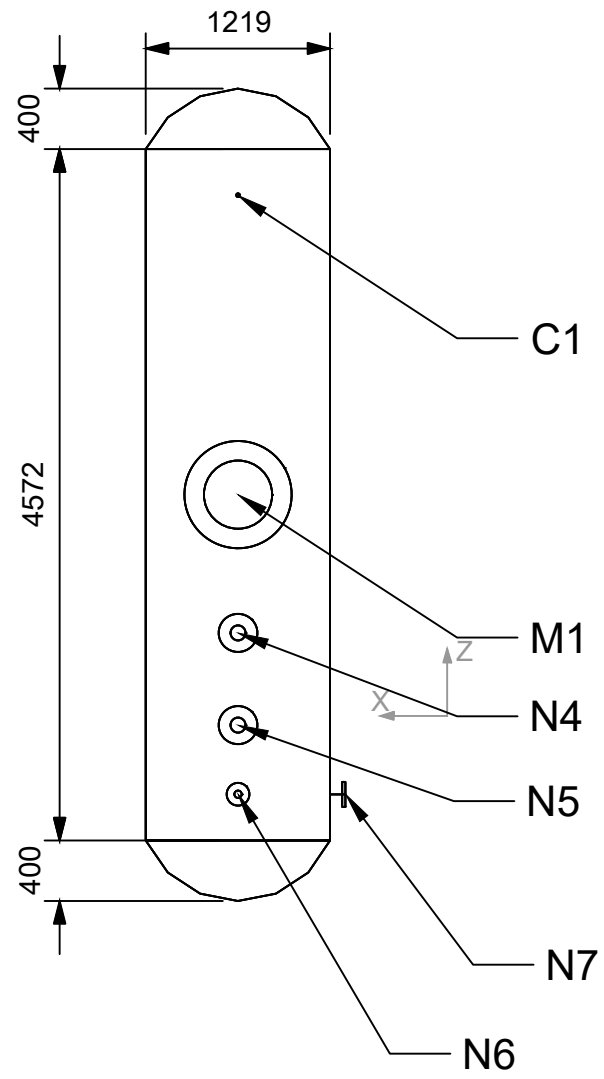
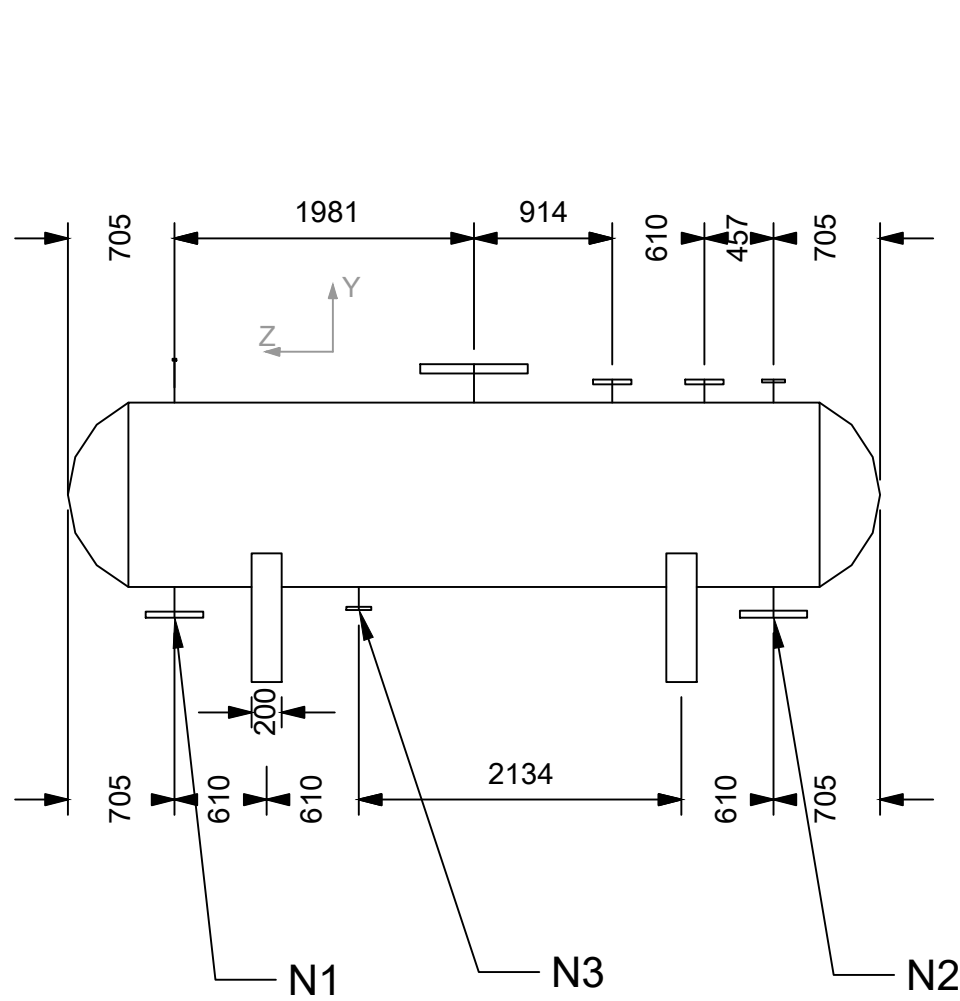
TOBERAS INTERCAMBIADOR CONDENSADOR E-102						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
A	ENTRADA REFRIGERANTE	1	6"	152,4	150#	RF
B	SALIDA REFRIGERANTE	1	6"	152,4	150#	RF
C	ENTRADA VAPOR	1	10"	254	300#	RF
D	SALIDA LIQUIDO	1	8"	203,2	300#	RF
V	RESPIRADERO	8	1"	25,4	6000#	CPLG

Notas: La fabricación y puesta en obra del intercambiador hervidor E-102 que se muestra en este plano, ha sido encargada a un tercero por la empresa promotora.

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma: 



ESCALA	Titulo: INTERCAMBIADOR CONDENSADOR E-102	REVISIÓN
1:75		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_EQUI_03	TAMAÑO
mm		A-3

DEPOSITO ACUMULADOR V-101



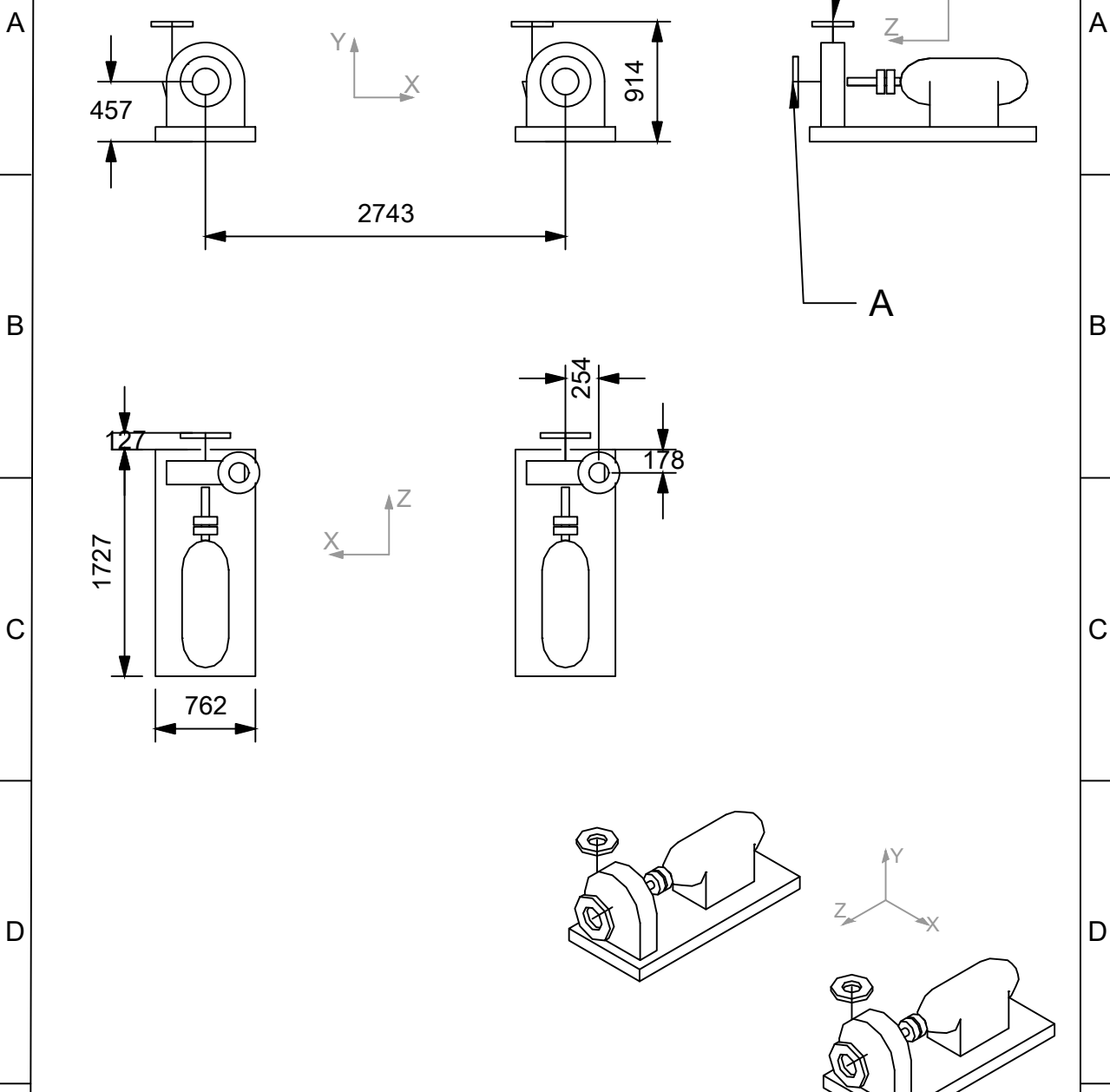
TOBERAS DEPOSITO ACUMULADOR						
Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
N1	ENTRADA DE LIQUIDO	1	8"	203,2	300#	RF
N2	SALIDA DE LIQUIDO	1	10"	254	300#	RF
N3	DRENAJE	1	2"	50,8	300#	RF
N4	SALIDA DE VAPOR	1	4"	101,6	300#	RF
N5	ALIVIO	1	4"	101,6	300#	RF
N6	INDICADOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
N7	INDICADOR DE NIVEL	1	2"	50,8	300#	RF
C1	VENTEO	1	1"	24,5	300#	CPLG
M1	ENTRADA DE HOMBRE	1	18"	457,2	300#	RF

Notas: La fabricación y puesta en obra del deposito acumulador V-102 que se muestra en este plano, ha sido encargada a un tercero por la empresa promotora.

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma: 



ESCALA	Titulo: DEPOSITO ACUMULADOR V-101	REVISIÓN
1:50		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo nº: Plano_EQUI_04	TAMAÑO
mm		A-3

BOMBAS P-101A & P-101B



TOBERAS BOMBAS P-101A Y P-101B

Nombre	Servicio	Und.	Tamaño		Clase	Tipo Cara
			Imperial	Metrico		
A	SUCCION	1	8"	203,2	300#	RF
B	DESCARGA	1	6"	152,4	300#	RF

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Título: BOMBAS P-101A & P-101B	REVISIÓN
1:50		5-Julio-2021
UNIDADES	Dibujo n°: Plano_EQUI_05	TAMAÑO
mm		A-4



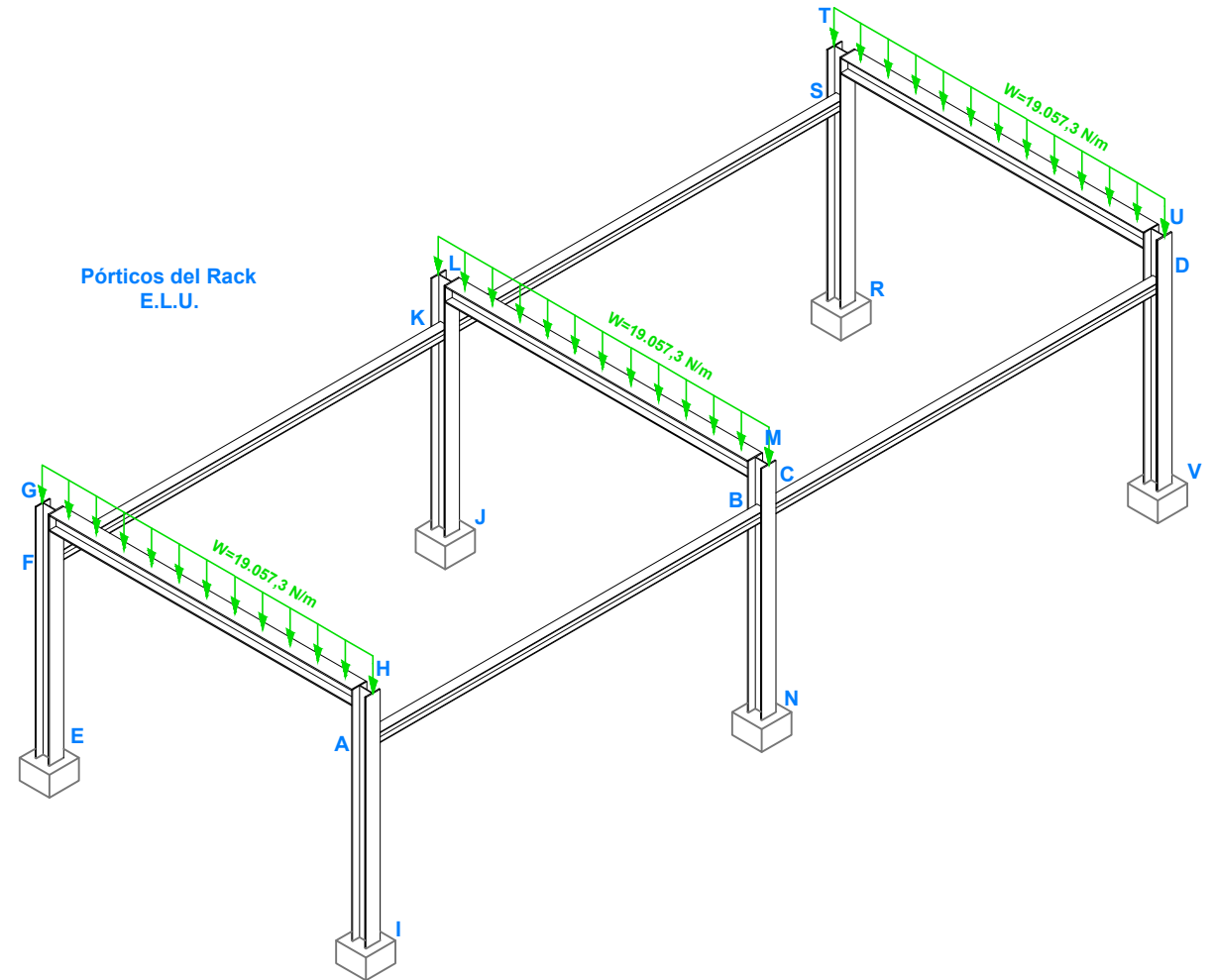
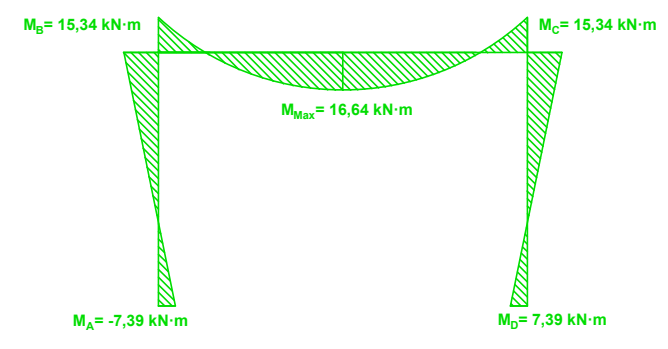
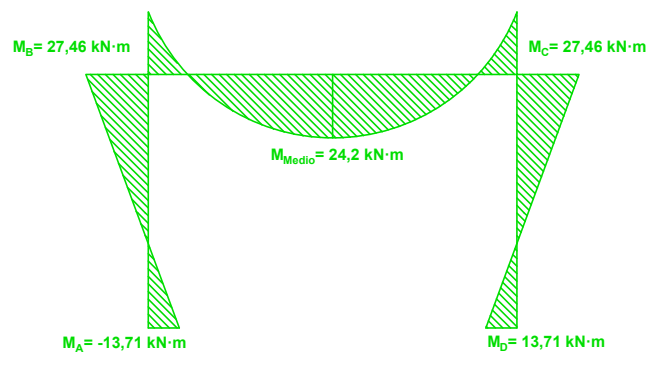
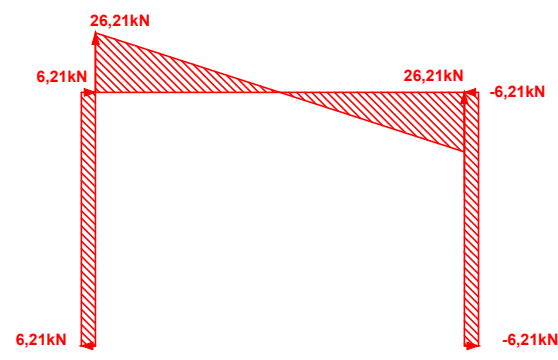
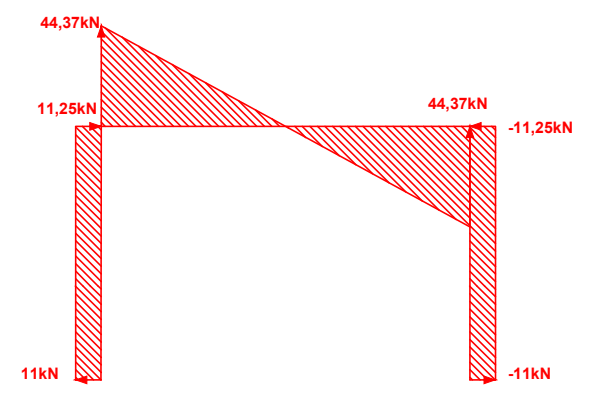
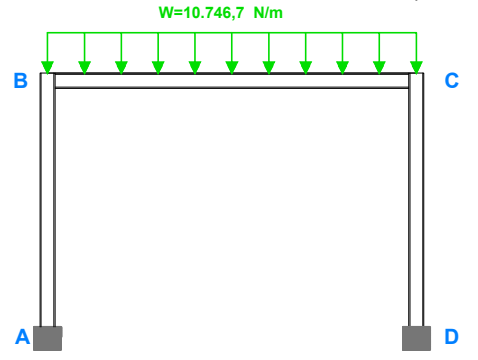
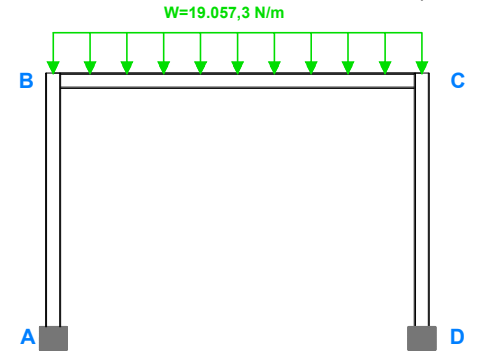
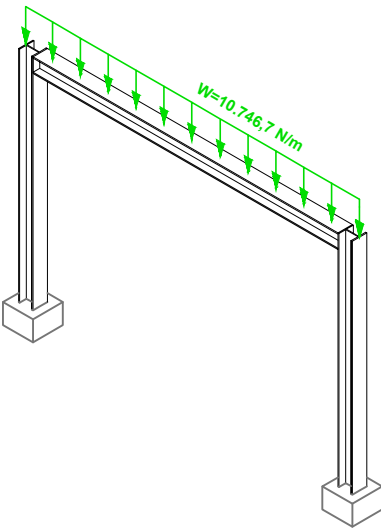
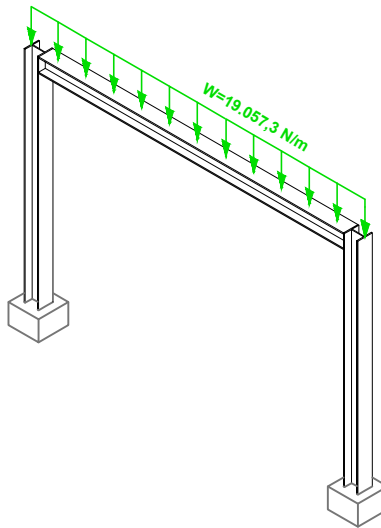
9.4. Planos cálculos:

- Plano_CALC_01 → Pórticos del rack
- Plano_CALC_02 → Viga transversal AB cálculo
- Plano_CALC_03 → Viga transversal CD cálculo
- Plano_CALC_04 → Pilar HI del rack
- Plano_CALC_05 → Pilar MN del rack
- Plano_CALC_06 → Pilar UV del rack
- Plano_CALC_07 → Soporte corto W cálculo
- Plano_CALC_08 → Soporte largo Ñ cálculo

1 2 3 4 5 6 7 8

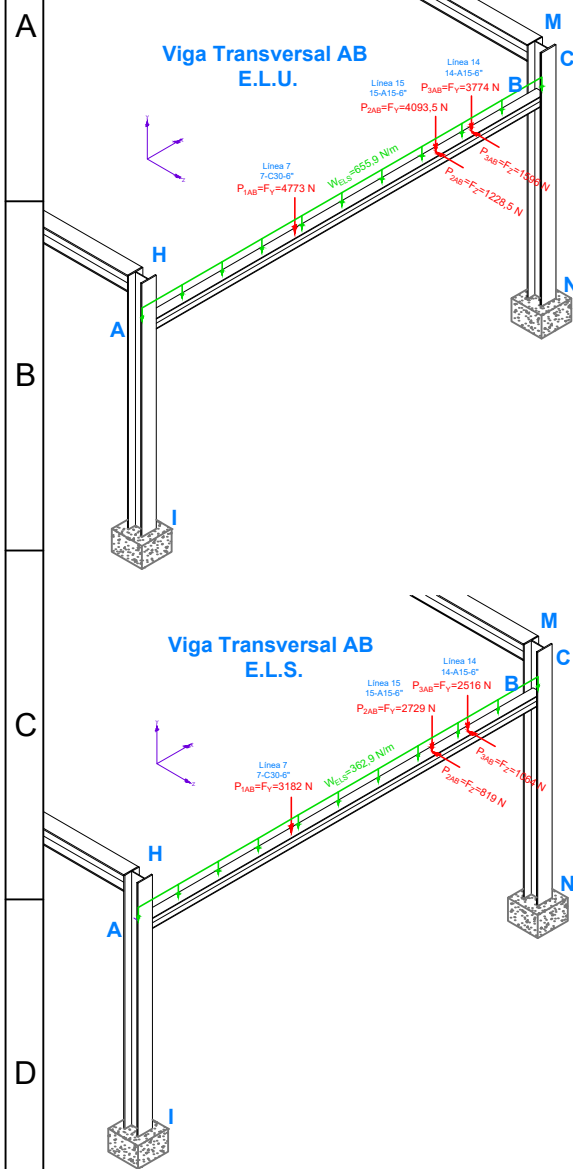
A
B
C
D
E
F

A
B
C
D
E
F

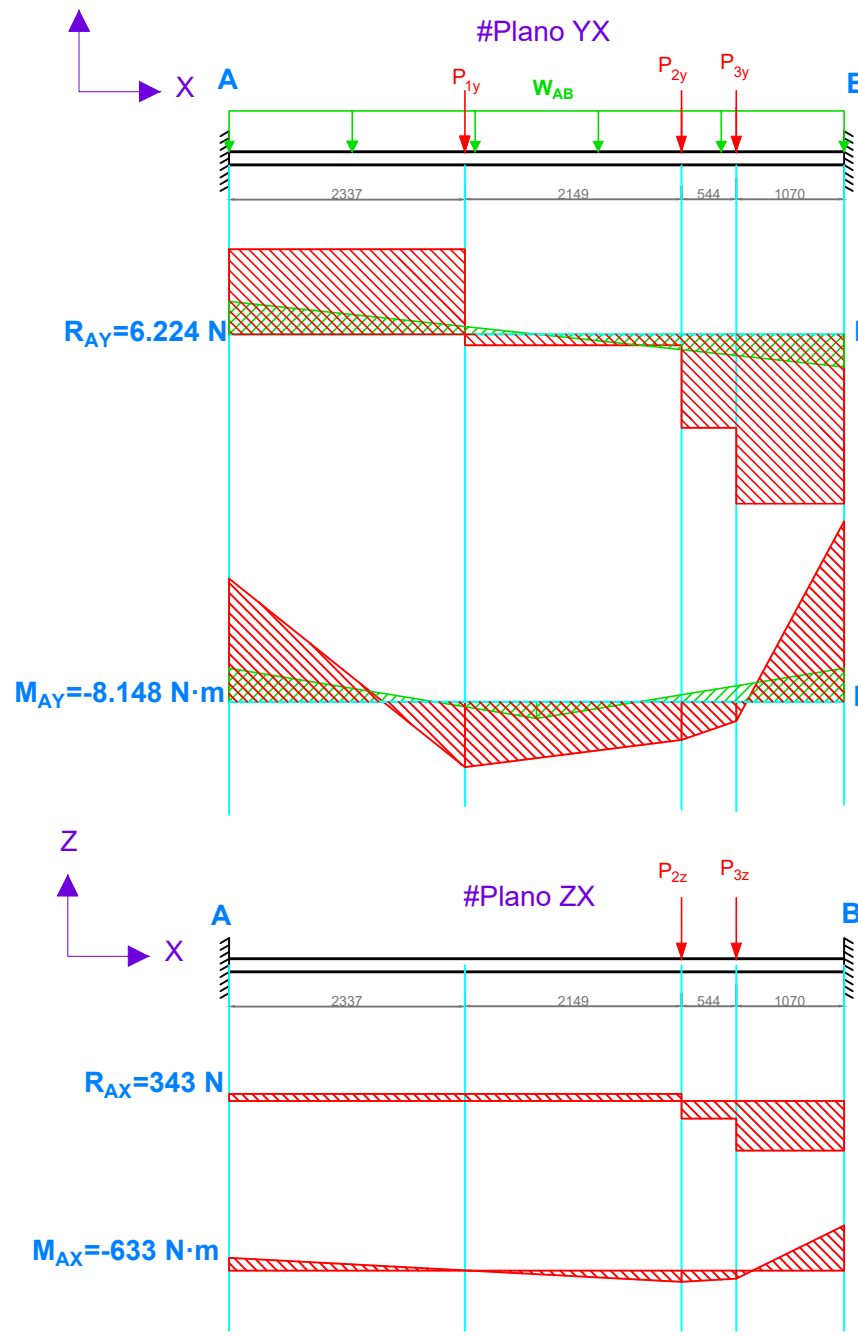


CLIENTE		CONTRATISTA		AUTOR	
PetroComb S.A.		 ETSII Béjar Universidad de Salamanca		Carlos Rodríguez Jiménez	Firma: 
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora				REVISIÓN
1:100					5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : PÓRTICOS DEL RACK				TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_01				A-3

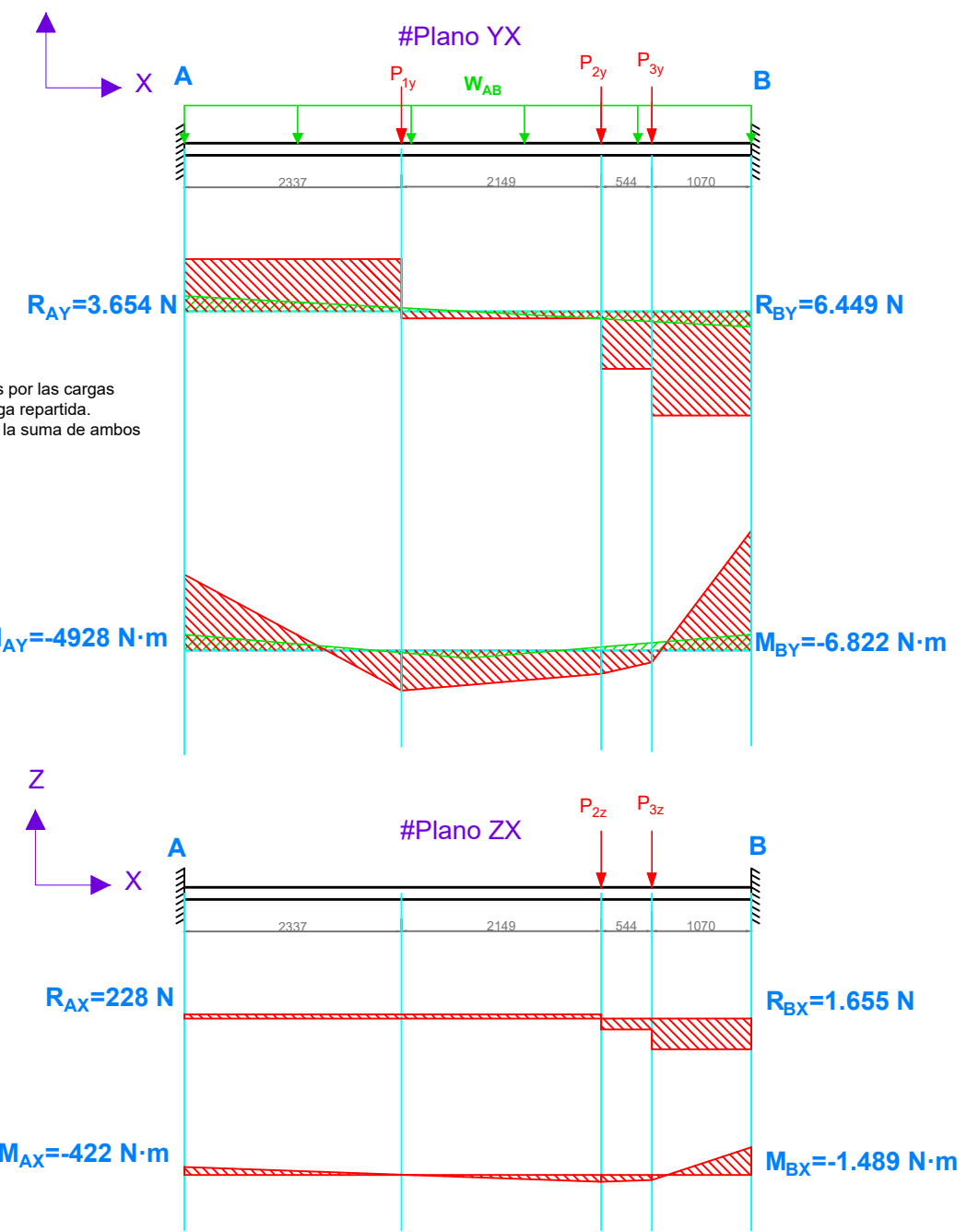
1 2 3 4 5 6 7 8



Viga transversal AB Estado Limite Ultimo



Viga transversal AB Estado Limite de Servicio



En rojo las reacciones creadas por las cargas puntuales, en verde por la carga repartida. Los resultados mostrados son la suma de ambos valores.

Escala del diagrama 1:200
Escala isométrico 1:100
Escala viga diagrama 1:75

VALORES DE CALCULO VIGA TRANSVERSAL AB

	WAB N/m	P1		P2		P3	
		Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)
E.L.U.	655,85	4773	0	4093,5	1228,5	3774	1596
E.L.S.	362,88	3182	0	2729	819	2516	1064

Resultados calculo viga transversal AB ELU

REACCIONES EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
RaY (N)	RbY (N)				
4223,8	8416,7				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
RaY (N)	RbY (N)	RaZ (N)	RbZ (N)		
1637,8	1637,8	5861,6	10054,5	342,6	2481,9

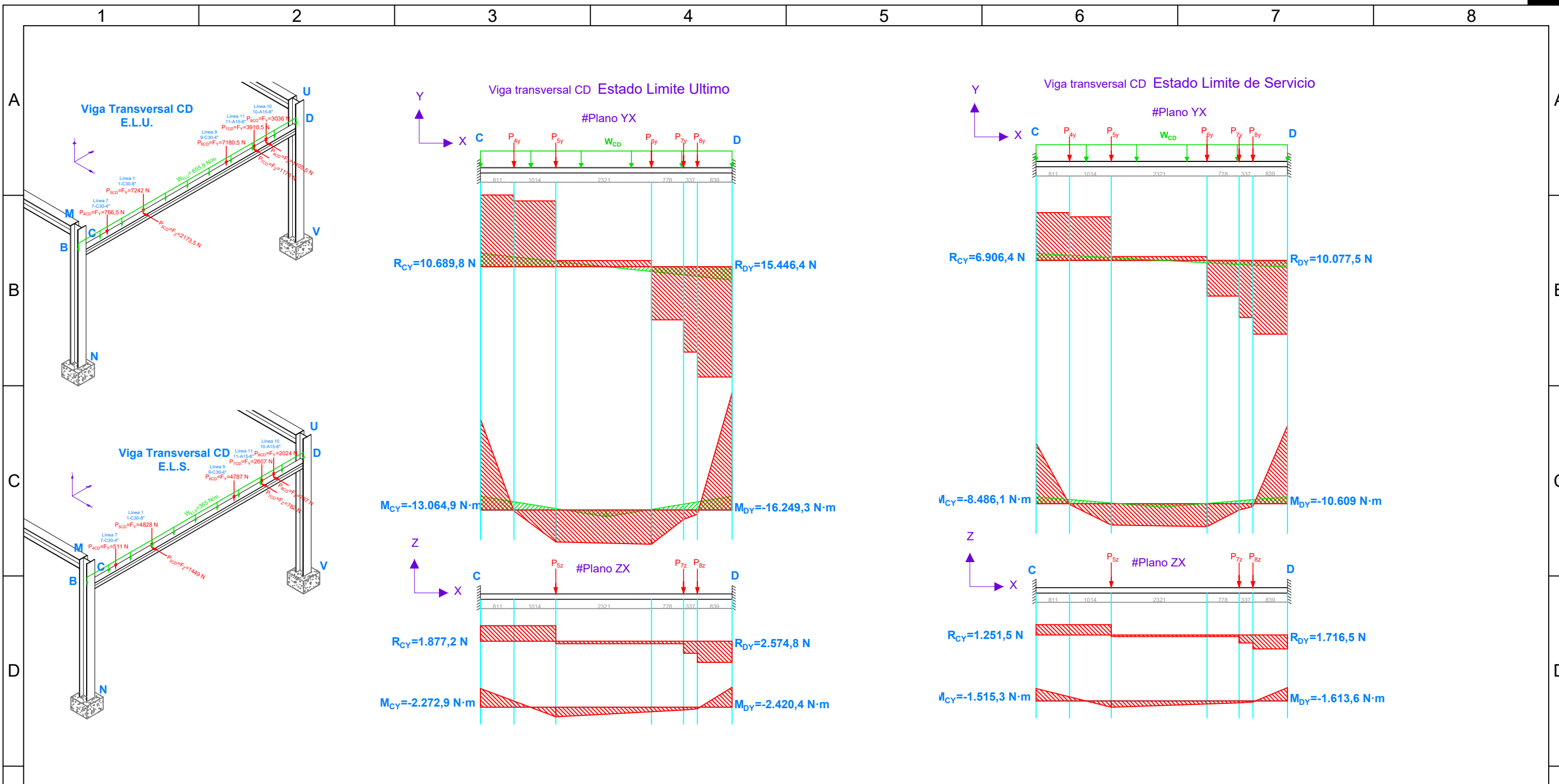
MOMENTOS EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
MOMENTOS PLANO YX			MOMENTOS PLANO ZX		
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
MaY (N)	MbY (N)				
-6114,5	-8955,2				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
MaY (N)	MbY (N)	MaX (N-m)	MbX (N-m)		
-2033,7	-2033,7	-8148,2	-10988,9	-632,8	-2233,5

Resultados calculo viga transversal AB ELS

REACCIONES EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
REACCIONES PLANO YX				REACCIONES PLANO ZX	
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
RaY (N)	RbY (N)				
2815,9	5611,1				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
RaY (N)	RbY (N)	RaX (N)	RbX (N)		
1106,8	1106,8	3922,6	6717,9	228,4	1654,6

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
MOMENTOS PLANO YX			MOMENTOS PLANO ZX		
Cargas puntuales		TOTAL		TOTAL	
MaY (N)	MbY (N)				
-4076,3	-5970,1				
Carga distribuida		TOTAL		TOTAL	
MaY (N)	MbY (N)	MaX (N)	MbX (N)		
-1125,2	-1125,2	-5201,5	-7095,3	-421,9	-1489,0

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALAS	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:50			5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : VIGA TRANSVERSAL AB CÁLCULOS		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_02		A-3



VALORES DE CALCULO VIGA TRANSVERSAL CD

	W1 N/m	P4		P5		P6		P7		P8	
		Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fy (N)	Fz (N)
E.L.U.	655,851	766,5	0	7242	2173,5	7180,5	0	3910,5	1173	3036	1105,5
E.L.S.	365,06	511	0	4828	1449	4787	0	2607	782	2024	737

Resultados calculo viga transversal CD ELU

REACCIONES EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
REACCIONES PLANO YX			REACCIONES PLANO ZX		
Cargas puntuales					
RcY (N)	RdY (N)	TOTAL	TOTAL		
8689,48572	13446,0143				
Carga distribuida					
RcY (N)	RdY (N)	RcZ (N)	RdZ (N)		
1637,7585	1637,7585	10689,8313	15446,3598	1877,23428	2574,76572

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE ULTIMO					
MOMENTOS PLANO YX			MOMENTOS PLANO ZX		
Cargas puntuales					
McX (N)	MdX (N)	TOTAL	TOTAL		
-11031,2106	-2033,68464				
Carga distribuida					
McX (N)	MdX (N)	McY (N-m)	MdY (N-m)		
-2033,68464	-2033,68464	-13064,8953	-16249,2499	-2272,90174	-2420,44761

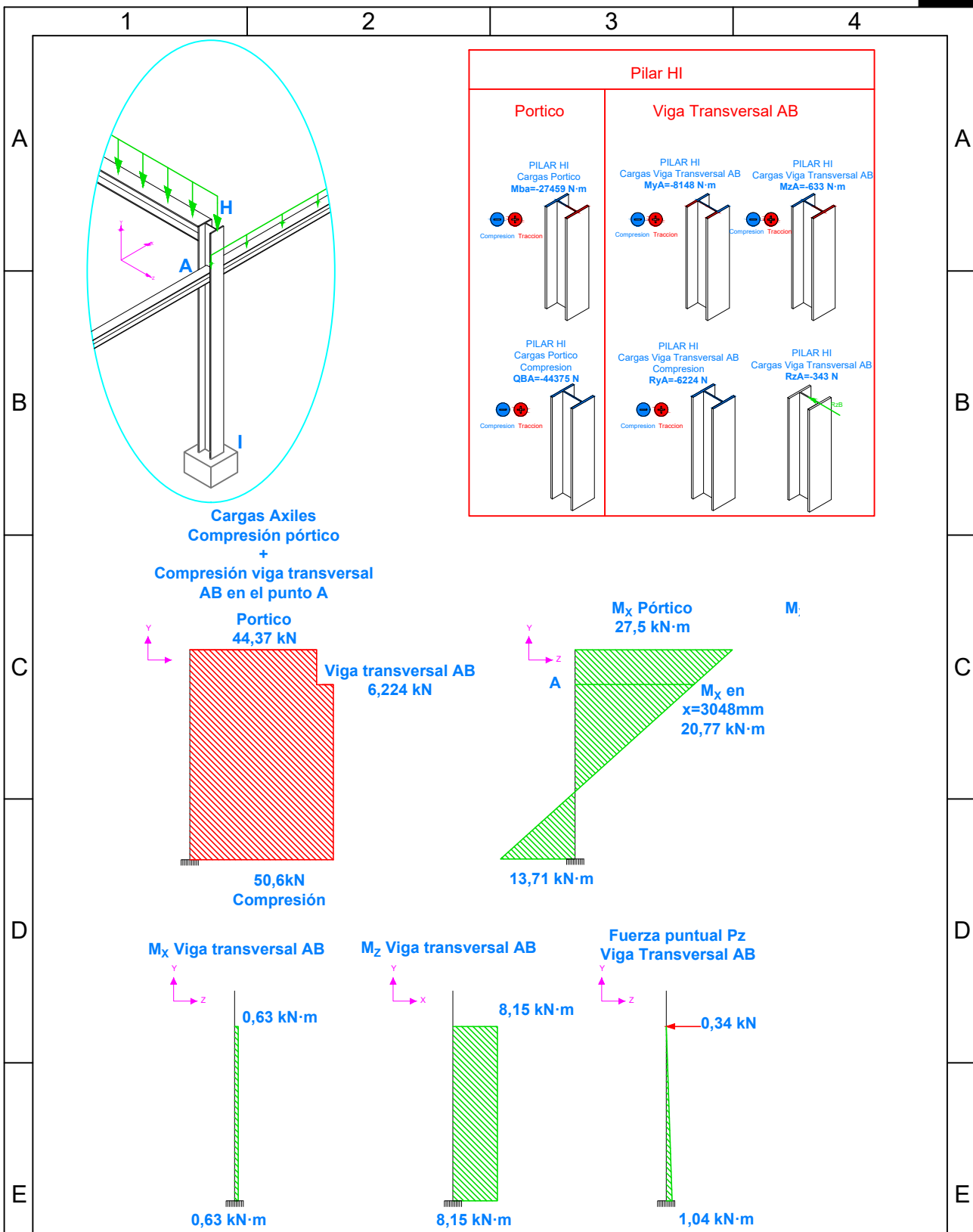
Resultados calculo viga transversal CD ELS

REACCIONES EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
REACCIONES PLANO YX			REACCIONES PLANO ZX		
Cargas puntuales					
RcY (N)	RdY (N)	TOTAL	TOTAL		
5792,99048	8964,00952				
Carga distribuida					
RcY (N)	RdY (N)	RcZ (N)	RdZ (N)		
1113,433	1113,433	6906,42348	10077,4425	1251,48952	1716,51048

MOMENTOS EN ESTADO LIMITE DE SERVICIO					
MOMENTOS PLANO YX			MOMENTOS PLANO ZX		
Cargas puntuales					
McX (N)	MdX (N)	TOTAL	TOTAL		
-7354,14042	-9477,0435				
Carga distribuida					
McX (N)	MdX (N)	McY (N-m)	MdY (N-m)		
-1131,99022	-1131,99022	-8486,13064	-10609,0337	-1515,26783	-1613,63174

Notas: En rojo las reacciones creadas por las cargas puntuales, en verde por la carga repartida.
 Los resultados mostrados son la suma de ambos valores.
 Escala del diagrama 1:200 Escala isométrico 1:75 Escala viga diagrama 1:75

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:50			5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : VIGA TRANSVERSAL CD CÁLCULO		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_03		A-3



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora	REVISIÓN
1:50		01-Julio-2021
UNIDADES	Plano : PILAR HI DEL RACK	TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_04	A-4

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

B

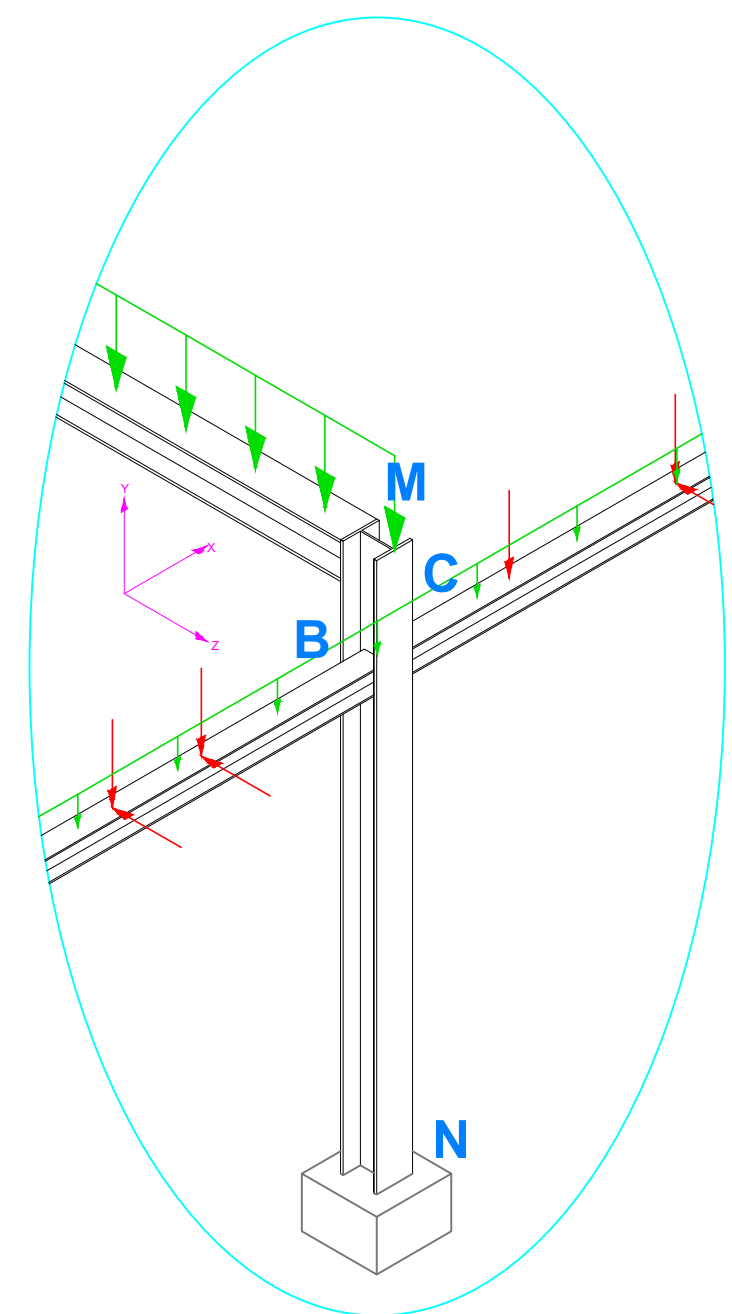
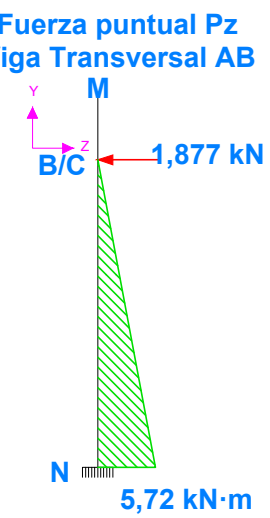
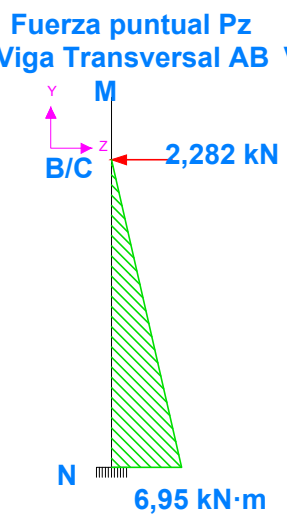
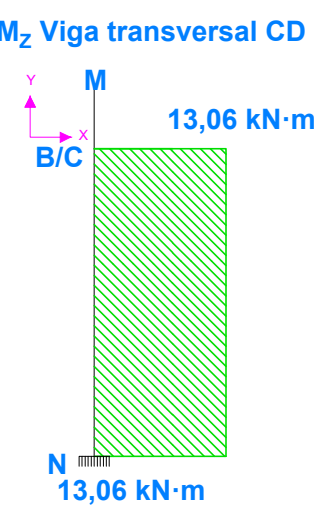
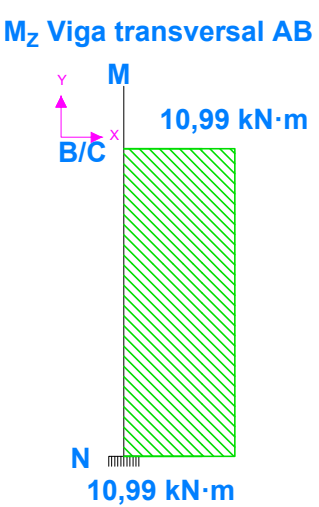
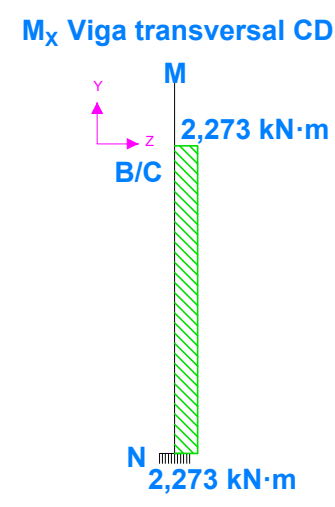
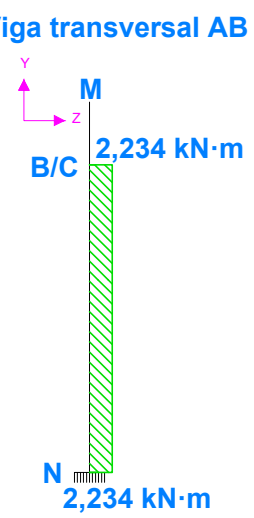
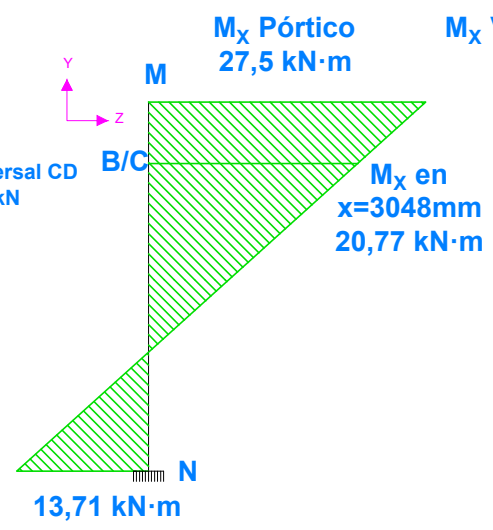
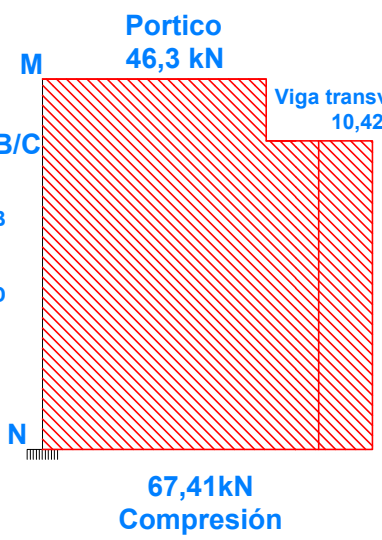
C

D

E

F

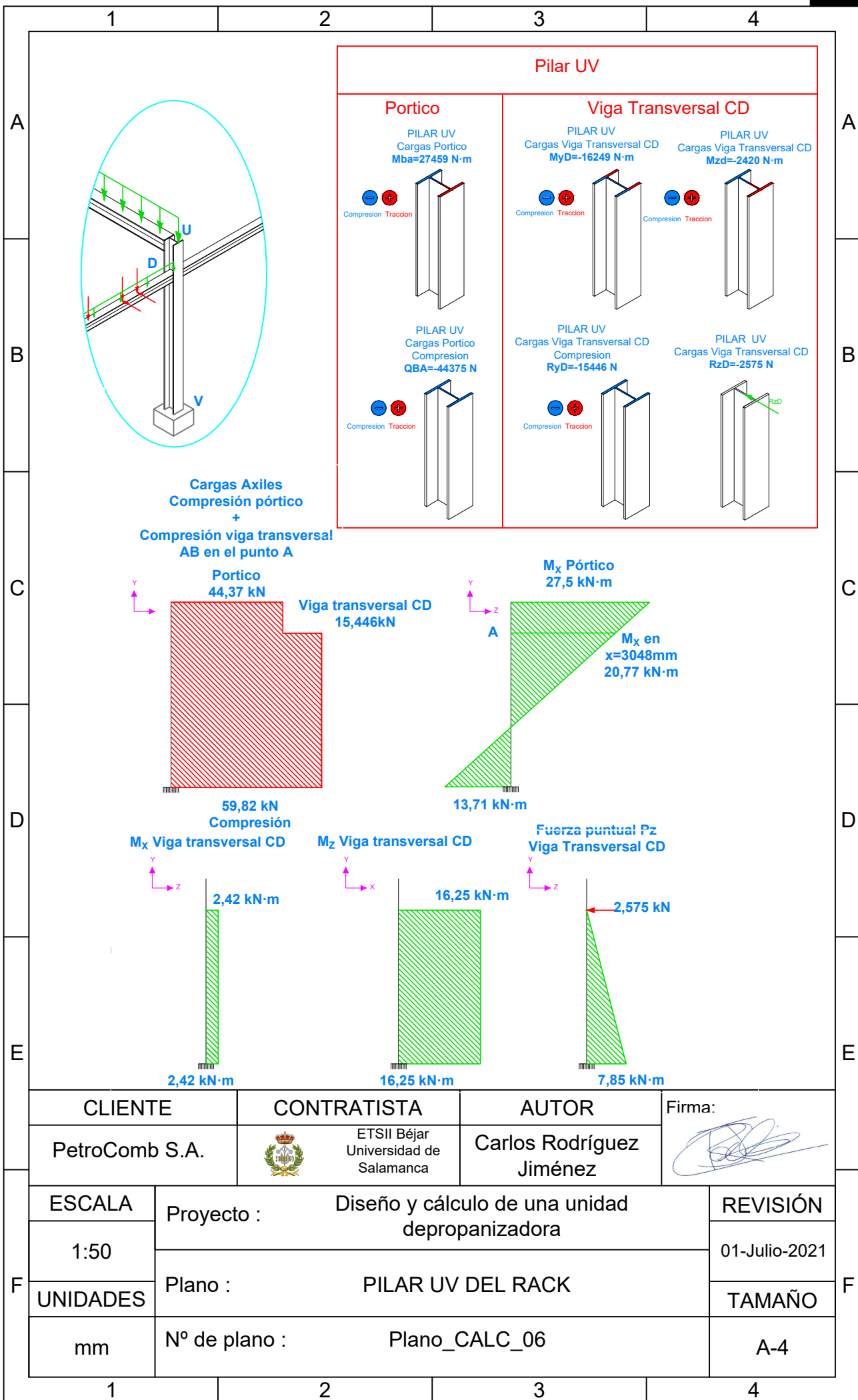
Cargas Axiales
Compresión pórtico
+
Compresión viga transversal AB
en el punto B
+
Compresión viga transversal CD
en el punto C



Pilar MN			
Portico	Viga Transversal AB		Viga Transversal CD
PILAR MN Cargas Portico $M_{ba} = -27459 \text{ N}\cdot\text{m}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal AB $M_{xB} = -10989 \text{ N}\cdot\text{m}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal AB $M_{zB} = -2234 \text{ N}\cdot\text{m}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal CD $M_{yC} = -13065 \text{ N}\cdot\text{m}$
PILAR MN Cargas Portico Compresión $Q_{BA} = -44375 \text{ N}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal AB Compresión $R_{yB} = -10417 \text{ N}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal AB Compresión $R_{zB} = -2482 \text{ N}$	PILAR MN Cargas Viga Transversal CD Compresión $R_{yC} = -10560 \text{ N}$

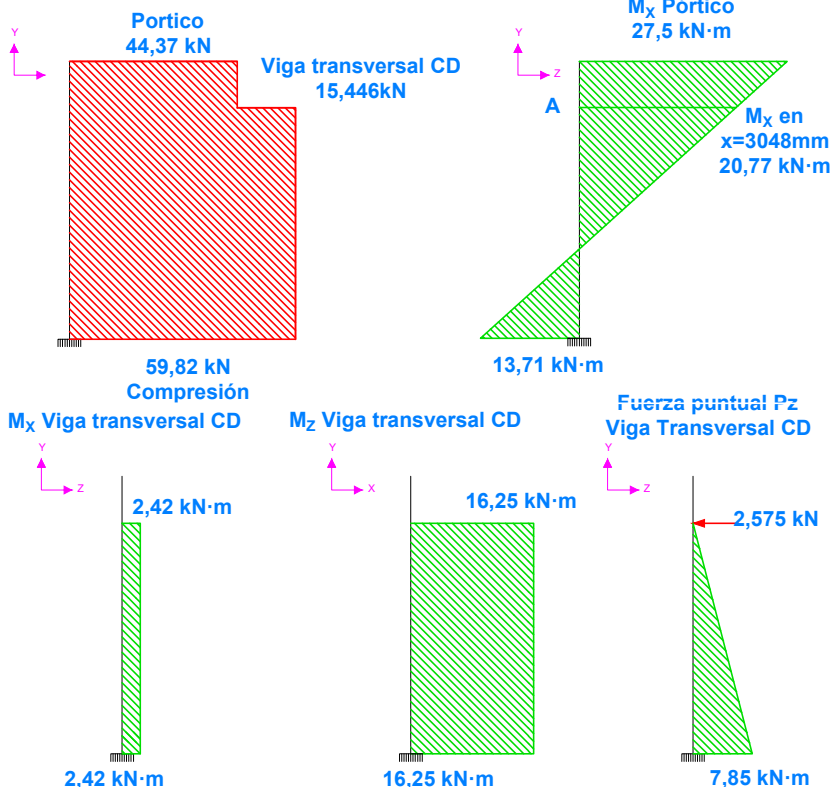
CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:75			01-Julio-2021
UNIDADES	Plano : PILAR MN DEL RACK		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_05		A-3



1 2 3 4 5 6 7 8



Pilar UV		
Portico	Viga Transversal CD	
PILAR UV Cargas Portico $M_{ba}=27459 \text{ N}\cdot\text{m}$	PILAR UV Cargas Viga Transversal CD $M_{yD}=-16249 \text{ N}\cdot\text{m}$	PILAR UV Cargas Viga Transversal CD $M_{zD}=-2420 \text{ N}\cdot\text{m}$
PILAR UV Cargas Portico Compresion $Q_{BA}=-44375 \text{ N}$	PILAR UV Cargas Viga Transversal CD Compresion $R_{yD}=-15446 \text{ N}$	PILAR UV Cargas Viga Transversal CD $R_{zD}=-2575 \text{ N}$

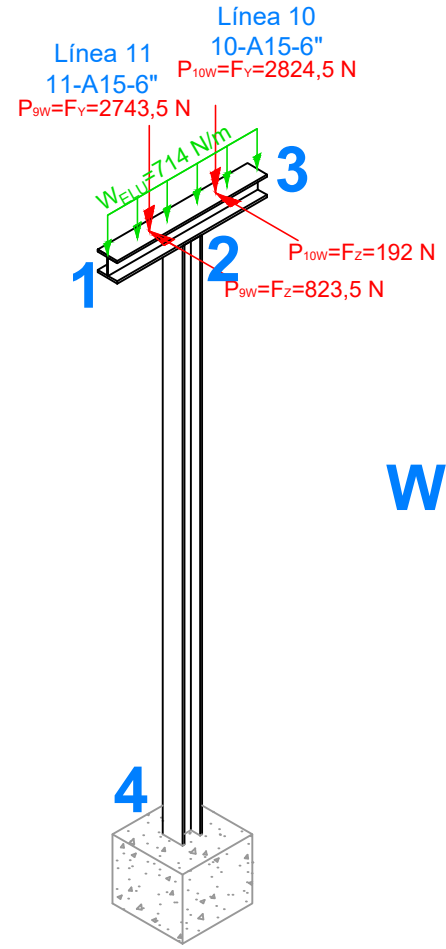
Cargas Axiales
 Compresión pórtico
 +
 Compresión viga transversal
 AB en el punto A



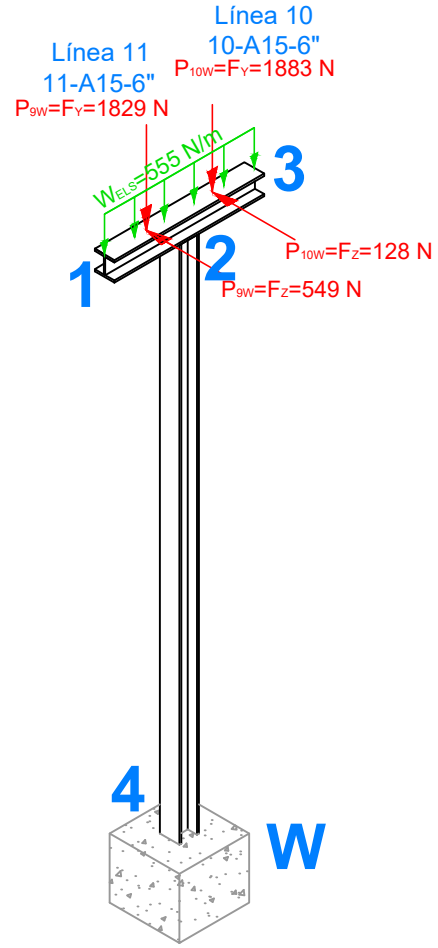
CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	Firma:
PetroComb S.A.	 ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	

ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora	REVISIÓN
1:50		01-Julio-2021
UNIDADES	Plano : PILAR UV DEL RACK	TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_06	A-4

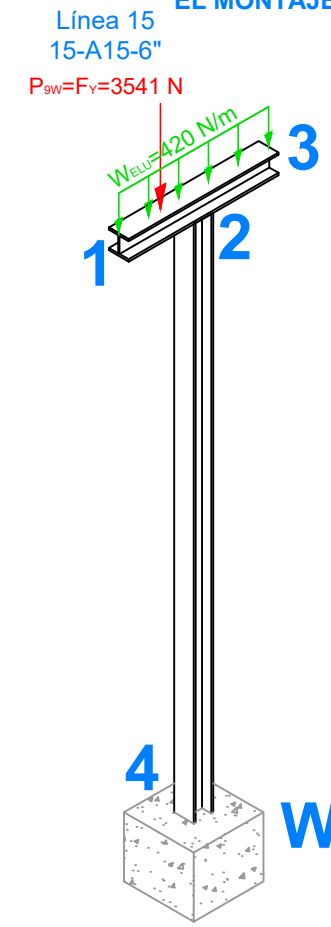
SOPORTE CORTO W E.L.U.



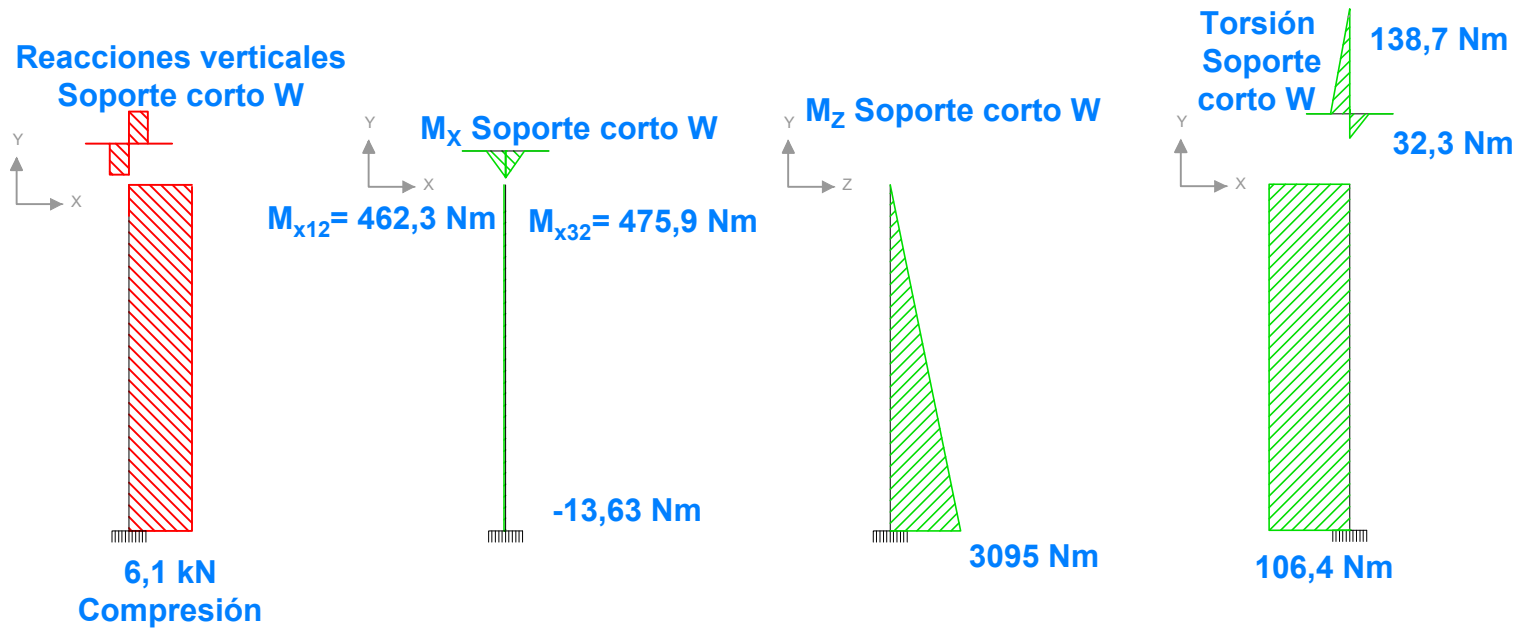
SOPORTE CORTO W E.L.S.



SOPORTE CORTO W MONTAJE; SE UTILIZAN LOS VALORES DE "SUSTAINED" SOLO EN UN ALA PARA SIMULAR LOS ESFUERZOS QUE SE PRODUCEN DURANTE EL MONTAJE



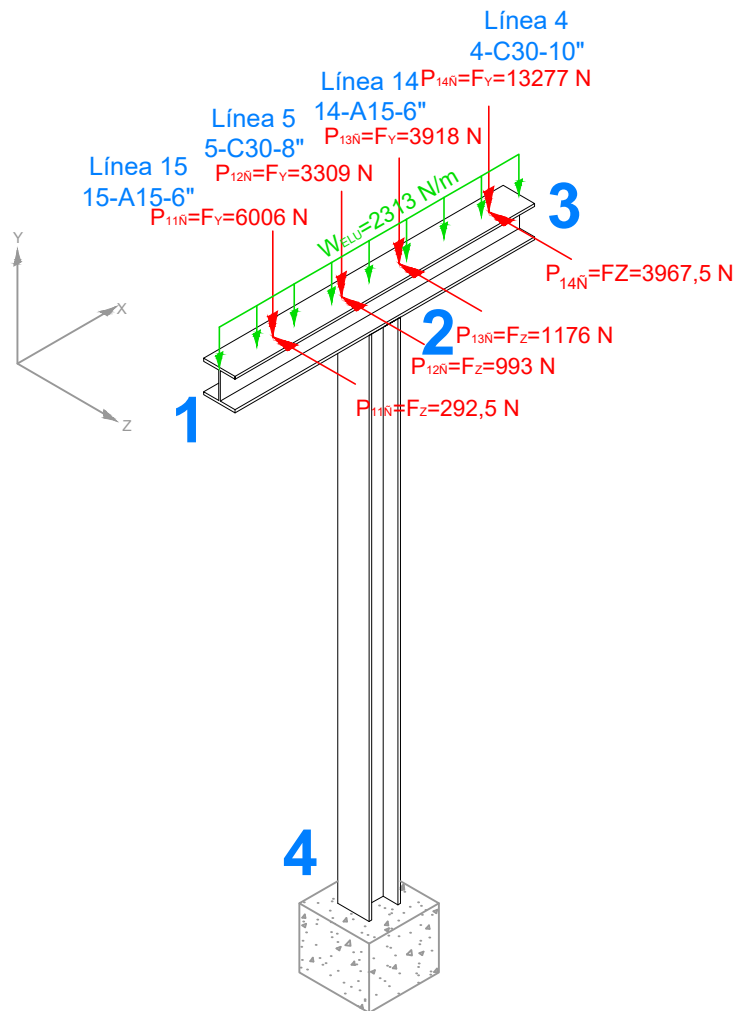
Representación de reacciones y momentos en el soporte corto W en Estado Limite Ultimo 1:66,6



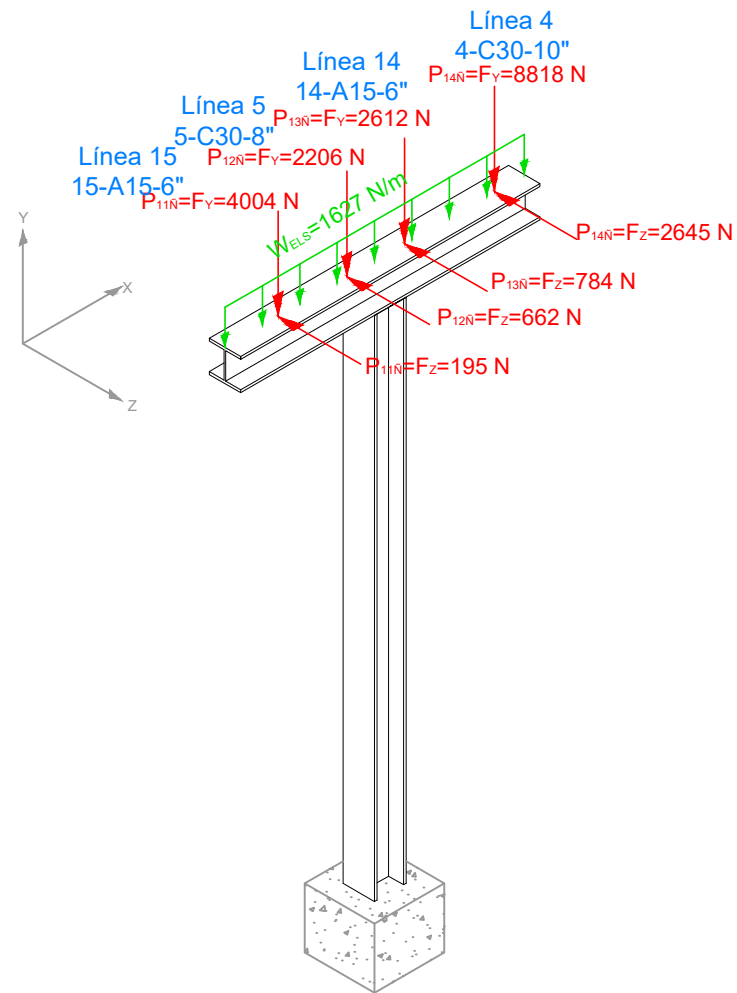
Notas:

CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jiménez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:33,3 1:66,6			5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : SOPORTE CORTO W; CÁLCULOS		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_07		A-3

SOPORTE LARGO Ñ E.L.U. 1:33,3

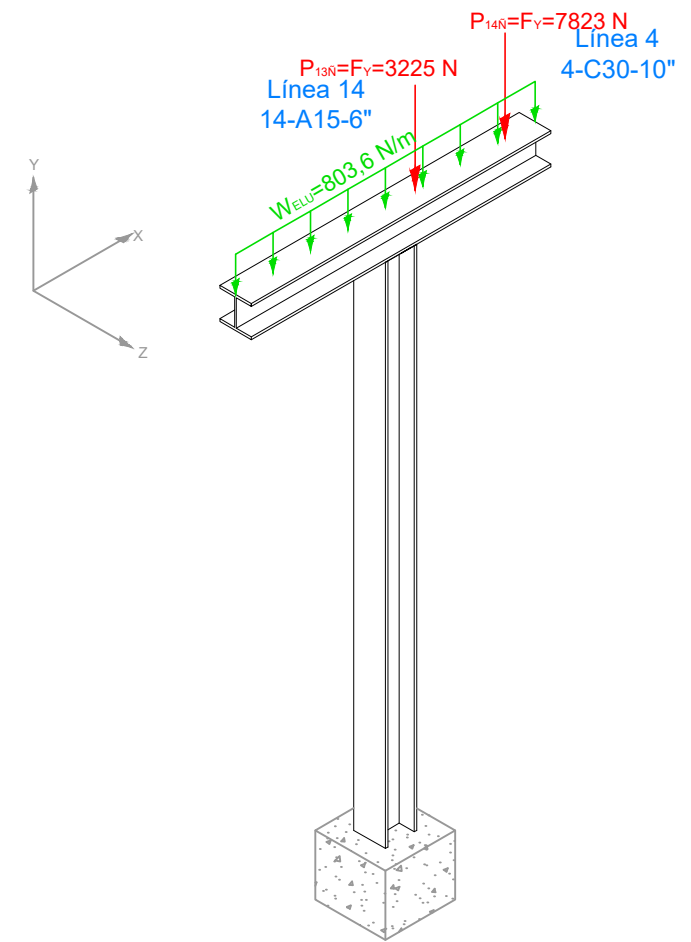


SOPORTE LARGO Ñ E.L.S. 1:33,3

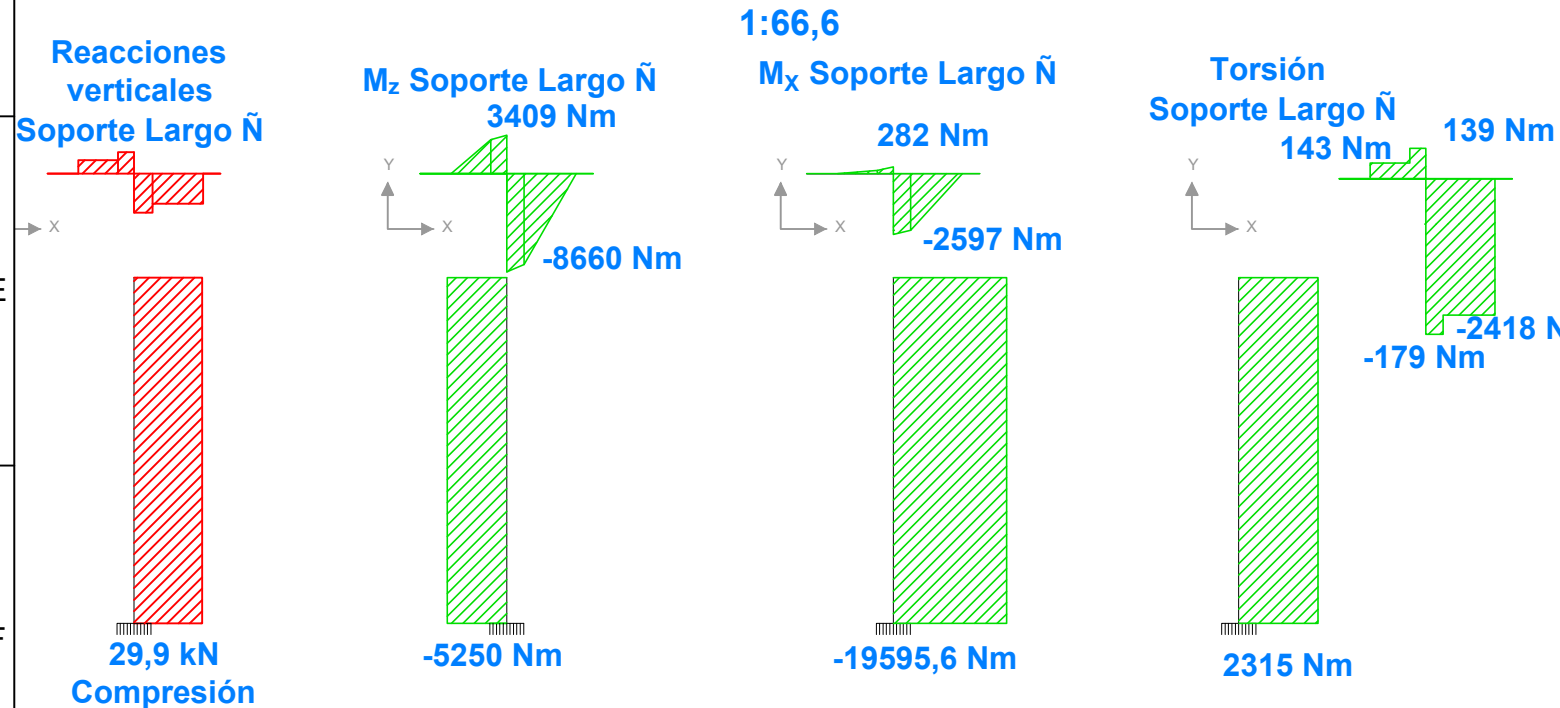


SOPORTE LARGO Ñ MONTAJE; 1:33,3

SE UTILIZAN LOS VALORES DE "SUSTAINED" SOLO EN UN ALA PARA SIMULAR LOS MOMENTOS QUE SE PRODUCEN DURANTE EL MONTAJE



Representación de reacciones y momentos en el soporte largo Ñ en Estado Limite Ultimo



CLIENTE	CONTRATISTA	AUTOR	
PetroComb S.A.	ETSII Béjar Universidad de Salamanca	Carlos Rodríguez Jimémez	Firma:
ESCALA	Proyecto : Diseño y cálculo de una unidad depropanizadora		REVISIÓN
1:33,3 1:66,6			5-Julio-2021
UNIDADES	Plano : SOPORTE LARGO Ñ CÁLCULOS		TAMAÑO
mm	Nº de plano : Plano_CALC_08		A-3

10. Índice de imágenes y tablas



1. Memoria Descriptiva:

(41 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: localización de PetroComb Muskiz en el mapa de España.....	3
Imagen 2: captura de la digitalización completa de la unidad depropanizadora	6
Imagen 3: columna de fraccionamiento con las diferentes fracciones separadas por productos.....	7
Imagen 4: diagrama de flujo simplificado de una columna de fraccionamiento de petróleo crudo.	7
Imagen 5: esquema simplificado de una planta de gas natural.....	8
Imagen 6: diagrama de flujo del proceso de la unidad depropanizadora.....	9
Imagen 7: P&ID o diagrama de flujo mecánico de la unidad depropanizadora.....	10
Imagen 8: diagrama de flujos de servicio público que intervienen en la unidad depropanizadora.	11
Imagen 9: abreviaturas y símbolos de los diagramas de flujo.	11
Imagen 10: captura de la torre depropanizadora V-101 diseñada en AVEVA E3D	12
Imagen 11: captura del depósito V-102 con las tuberías que conecta diseñado en AVEVA E3D	13
Imagen 12: diagrama de funcionamiento de un intercambiador de calor hervidor.....	14
Imagen 13: captura del intercambiador hervidor E-101 de la digitalización en AVEVA E3D	14
Imagen 14: diagrama de funcionamiento de un intercambiador de calor condensador.....	15
Imagen 15: captura del intercambiador condensador E-102 de la digitalización en AVEVA E3D.....	15
Imagen 16: comparativa entre las bombas P-101 A & B sin soporte y con él.....	16
Imagen 17: plano de vista en planta de la unidad depropanizadora aportado por el promotor.....	17
Imagen 18: captura de la línea 1-C30-8" junto con los equipos y estructuras con los que interviene	18
Imagen 19: captura de la línea 2-C30-10" junto con los equipos que conecta	19
Imagen 20: captura de la línea 3-C30-12" junto con los equipos que conecta	20
Imagen 21: captura de la línea 4-C30-10" junto con los equipos y estructuras en los que interviene	21
Imagen 22: captura de la línea 5-C30-8" junto con los equipos y estructuras en los que interviene	22
Imagen 23: captura de la línea 6-C30-10" junto con los equipos que conecta	23
Imagen 24: captura de la línea 7-C30-4" y 7-C30-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	24
Imagen 25: captura de la línea 9-C30-4" junto con los equipos y estructuras en los que interviene	25
Imagen 26: captura de la línea 10-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	26
Imagen 27: captura de la línea 11-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	27
Imagen 28: captura de la línea 12-C30-4" junto con los equipos y estructuras en los que interviene	28
Imagen 29: captura de la línea 13-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	29
Imagen 30: captura de la línea 14-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	30
Imagen 31: captura de la línea 15-A15-6" junto con los equipos y estructuras en los que interviene.....	31
Imagen 32: captura de la línea 16-C30-2" junto con los equipos y estructuras en los que interviene	32
Imagen 33: captura de imagen de las 11 líneas que atraviesan el rack de oeste a este.....	33



Imagen 34: captura de la digitalización del medidor Briddle #1	35
Imagen 35: captura de la digitalización del Briddle #2 en el depósito V-102.....	36
Imagen 36: Estación de válvulas de control muy similares entre si. FRC (Flow recording controller) izquierda. TRC (Temperatura recording controller) derecha	37
Imagen 37: imagen del Pipe Rack tomada de la digitalización del modelo.....	38
Imagen 38: captura del soporte corto W obtenida de la simulación en AVEVA E3D	39
Imagen 39: captura del soporte largo Ñ obtenida de la simulación del proyecto en AVEVA E3D	40
Imagen 41: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 9-C30-4"	41
Imagen 40: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 11.....	41
Imagen 43: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 7-C30-4	41
Imagen 42: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 12-C30-4"	41

2. Memoria Constructiva

(37 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: parte de un plano de fabricación del de la columna depropanizadora 01-V-101	3
Imagen 2: parte del plano de fabricación del depósito 01-V-102	4
Imagen 3: parte del plano de fabricación del intercambiador hervidor E-101	5
Imagen 4: parte del plano de fabricación del intercambiador de calor condensador E-102	6
Imagen 5: parte del plano de fabricación de las bombas P-101A y P-101B	7
Imagen 6: valores del material ASTM A53 grado B con el que se han fabricado las tuberías.....	9
Imagen 7: plano de fabricación de la línea 1-C30-8"	10
Imagen 8: plano de fabricación de las líneas 2-C30-10" y 3-C30-12"	11
Imagen 9: plano de fabricación de la línea 4-C30-10"	12
Imagen 10: plano de fabricación de la línea 5-C30-8"	13
Imagen 11: plano de fabricación de la línea 6-C30-10"	14
Imagen 12: línea 7-C30-6", parte 1ª de la línea. Parte de descarga bombas.	16
imagen 13: línea 7-C30-4" 2ª parte línea, parte descarga torre.	16
Imagen 14: plano de fabricación de la línea 9.....	17
Imagen 15: plano de fabricación de la línea 10.....	18
Imagen 16: plano de fabricación de la línea 11.....	19
Imagen 17: plano de fabricación de la línea 12.....	20
Imagen 18: plano de fabricación de la línea 13.....	21
Imagen 19: plano de fabricación de la línea 14.....	22
Imagen 20: plano de fabricación de la línea 15.....	23
Imagen 21: plano de fabricación de la línea 16.....	24



Imagen 22: captura de imagen de las 11 líneas que atraviesan el rack de oeste a este.....	25
Imagen 23: plano de fabricación del medidor controlador “BRIDDLE #1 ”	28
Imagen 24: plano de fabricación del medidor controlador “BRIDDLE #2”.....	29
Imagen 25: captura del rack, formado por 3 pórticos y 4 vigas transversales.....	30
Imagen 26: captura de AVEVA E3D del soporte corto W y las tuberías que soporta	31
Imagen 27: captura de AVEVA E3D del soporte largo Ñ y las tuberías que soporta.....	32
Imagen 28: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 7-C30-4.....	33
Imagen 29: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 9-C30-4”	34
Imagen 30: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 11-A15-6”	35
Imagen 31: trunnio que sostiene la estación de control de la línea 12-C30-4”	36
Imagen 32: soporte auxiliar montado en la línea 6 para no sobrecargar las toberas de succión	37

Tablas:

Tabla 1: información de las toberas de la torre de fraccionamiento depropanizadora.....	3
Tabla 2: información de las toberas del depósito acumulador V-102	4
Tabla 3: valores de las toberas del intercambiador hervidor E-101	5
Tabla 4: valores de las toberas del intercambiador condensador E-102	6
Tabla 5: valores para las toberas de las bombas.....	7
Tabla 6: significado de los elementos que componen las listas de materiales de las tuberías.....	8
Tabla 7: lista de materiales de la línea 1-C30-8”	9
Tabla 8: lista de materiales de la línea 2-C30-10”	10
Tabla 9: lista de materiales de la línea 3-C30-12”	11
Tabla 10: lista de materiales de la línea 4-C30-10”	12
Tabla 11: lista de materiales de la línea 5-C30-8”	13
Tabla 12: lista de materiales de la línea 6-C30-10”	14
Tabla 13: lista de materiales de la línea 7-C30-4”	15
Tabla 14: lista de materiales de la línea 7-C30-6”	15
Tabla 15: lista de materiales de la línea 9-C30-4”	17
Tabla 16: lista de materiales de la línea 10-A15-6”	18
Tabla 17: lista de materiales de la línea 11-A15-6”	19
Tabla 18: lista de materiales de la línea 12-C30-4”	20
Tabla 19: lista de materiales de la línea 13-A15-6”	21
Tabla 20: lista de materiales de la línea 14-A15-6”	22
Tabla 21: lista de materiales de la línea 15-A15-6”	23
Tabla 22: lista de materiales de la línea 16-C30-2”	24
Tabla 23: valores del accesorio de conexión de la tubería 17-A15-8”	26
Tabla 24: valores del accesorio de conexión de la tubería 18-A15-8”	26
Tabla 25: valores del accesorio de conexión de la tubería 19-A15-10”	26



Tabla 26: valores del accesorio de conexión de la tubería 20-A15-10"	26
Tabla 27: valores del accesorio de conexión de la tubería 21-A15-10"	26
Tabla 28: valores del accesorio de conexión de la tubería 22-A15-10"	27
Tabla 29: accesorios que componen le Briddle #1	28
Tabla 30: accesorios que componen le Briddle #2	29
Tabla 31: perfiles necesarios para montar el Rack	30
Tabla 32: lista de materiales del soporte corto W	31
Tabla 33: lista de materiales del soporte largo Ñ	32
Tabla 34: lista de materiales del trunnion de la línea 7-C30-4"	33
Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 9-C30-4"	35
Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 11-A15-6"	36
Tabla: lista de materiales del trunnion de la línea 12-C30-4"	37

3. Memoria justificativa

(28 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 1-C30-8"	4
Imagen 2: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 4-C30-10"	5
Imagen 3: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 4-C30-10"	6
Imagen 4: resultados tensionales del modelo 6-C30-10"	7
Imagen : comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 7-C30-4"	8
Imagen 5: resultados tensionales del modelo 7-C30-4"	8
Imagen : representación grafica de las tensiones SL del modelo 7-C30-4"	8
Imagen 6: resultados tensionales del modelo 7-C30-6"	9
Imagen 7: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 4-C30-10"	10
Imagen 8: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 10-A15-6"	11
Imagen 9: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 11-A15-6"	12
Imagen 10: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 14-A15-6"	13
Imagen 11: captura de pantalla de los resultados del analisis de la línea 14-A15-6"	14

Tablas:

Tabla 1: valores para los esfuerzos que transmite la línea 1-C30-8" en su apoyo	4
Tabla 2: valores para los esfuerzos que transmite la línea 4-C30-10" en su apoyo	5
Tabla 3: valores para los esfuerzos que transmite la línea 5-C30-8" en su apoyo	6



Tabla 4: soportes en el último codo de la línea 6-C30-10" 7

Tabla 5: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4" en la viga transversal CD 8

Tabla 6: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4" en su trunnion..... 8

Tabla 7: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-6" en la viga transversal AB 9

Tabla 8: valores para los esfuerzos que transmite la línea 9-C30-4" en su apoyo..... 10

Tabla 9: valores para los esfuerzos que transmite la línea 7-C30-4" en su trunnion..... 10

Tabla 10: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6" en su apoyo..... 11

Tabla 11: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6" en su apoyo..... 12

Tabla 12: valores para los esfuerzos que transmite la línea 9-C30-4" en su trunnion..... 12

Tabla 13: valores para los esfuerzos que transmite la línea 14-A15-6" en su apoyo..... 13

Tabla 14: valores para los esfuerzos que transmite la línea 10-A15-6" en su apoyo..... 14

4. Simulación y análisis de líneas mediante CaePipe

(129 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: Logo CAEPIPE™ 4

Imagen 2: pantalla de inicio de Caepipe™ 5

Imagen 3: ventanas para la selección del análisis..... 5

Imagen 5: ventanas y valores necesarios para definir el viento del modelo. 7

Imagen 5: pantallas para declarar los materiales que se van a utilizar..... 9

Imagen 6: captura de pantalla de las ventanas para la configuración de la sección de la tubería. 9

Imagen 7: captura de pantalla de CaePipe con las ventanas para declarar las cargas. 10

Imagen 8: ventanas de los tipos de elemento y de los tipos de datos del programa CAEPIPE..... 11

Imagen 9: captura de CAEPIPE con las ventanas necesarias para la elección del material. 12

Imagen 10: captura de pantalla de la sección que montará la línea 1-C30-8" 13

Imagen 11: condiciones de trabajo para la línea 1-C30-8" 13

Imagen 12: captura de una brida WeldNeck en el programa "Pipedata Pro 14". 14

Imagen 14: programación hasta la brida de la línea 1-C30-8" 15

Imagen 15: codo de 90°C, LR, de 8" de diámetro y Schedule STD. Captura de Pipedata Pro..... 16

Imagen 16: configuración de la línea 1-C30-8" hasta su primer codo 16

Imagen 17: valores para una válvula de globo de 8", clase 300# con las caras RF. 17

Imagen 18: captura de pantalla de los requisitos para introducir una válvula en CAEPIPE..... 17

Imagen 19: modelo de línea 1-C30-8" hasta el nodo 40 con su representación grafica..... 18

Imagen 20: valores del soporte colocado en nodo 55 sobre portante derecha CD..... 18

Imagen 21: modelo completo de la línea 1-C30-8" 19

Imagen 22: captura de pantalla de CaePipe, con la representación en 3D del modelo introducido. 19



Imagen 23: representación a una sola línea, en vista isométrica del modelo de la línea 1-C30-8”19

Imagen 24: ventanas y valores donde definir el viento20

Imagen 25: casos de carga o de estudio a los que se va a someter el modelo20

Imagen 26: captura de pantalla de Caepipe, selección de resultados a visualizar.....21

Imagen 27: captura de pantalla de los resultados del analisis de la linea 1-C30-8”21

Imagen 28: representacion tensional de de las cargas sostenidas (SL).....22

Imagen 29: comparativa entre las tensiones de carga sostenida y las aceptadas por la norma (SL/SH) ...22

Imagen 30: representacion tensional por expansion termica (SE).....23

Imagen 31: comparativa entre las tensiones termicas y las permitidas por norma (SE/SA).....23

Imagen 32: representacion tensional de la suma de cargas por peso propio (SL) mas cargas ocasionales(SO)23

Imagen 33: comparativa entre tensiones ocasionales y permitidas por la norma ((SL+SO)/SHO)24

Imagen 34: tabla con el cumplimiento del codigo B31.324

Imagen 35: tabla con el reporte de las bridas.25

Imagen 36: tabla con las cargas del anclaje situado en el Node 1025

Imagen 37: cargas en el nodo 55 sobre viga transversal derecha CD25

Imagen 38: cargas sobre el portico en el nodo 8026

Imagen 39: valores de la restriccion de final de linea26

Imagen 40: valores de fuerzas sobre tuberias vacias(W) en coordenadas globales.26

Imagen 41: valores de fuerzas sobre tuberias vacias(W) en coordenadas locales.26

Imagen 43: valores de fuerzas sobre tuberias sostenidas (W+P) en coordenadas locales.27

Imagen 42: valores de fuerzas sobre tuberias sostenidas (W+P) en coordenadas globales.27

Imagen 44: valores de fuerzas sobre tuberias por expansion (T1) en coordenadas globales.....27

Imagen 45: valores de fuerzas sobre tuberias por expansion (T1) en coordenadas locales.27

Imagen 46: valores de fuerzas en las tuberias en el momento de operación (W+P1+T1) en coordenadas globales28

Imagen 47: valores de fuerzas en las tuberias en el momento de operación (W+P1+T1) en coordenadas locales.....28

Imagen 48: valores de fuerzas en las tuberias por la accion del viento (Wind) en coordenadas globales 28

Imagen 49: valores de fuerzas en las por la accion del viento (Wind) en coordenadas locales.....28

Imagen 51: fuerzas sobre valvula sustentada (W+P)28

Imagen 50: fuerzas sobre valvula vacia (W)28

Imagen 52: fuerzas sobre valvula en momento de expansion (T1).....29

Imagen 53: fuerzas sobre valvula en operación (W+P1+T1)29

Imagen 54: fuerzas sobre la valvula por la accion del viento.....29

Imagen 52: tabla y representacion grafica de deformaciones en estado de peso muerto (W)29

Imagen 53: tabla y representacion grafica de deformaciones en estado de sostenido (W+P)29

Imagen 54: tabla y representacion grafica de deformaciones en el caso de la expansion (T1)30

Imagen 55: tabla y representacion grafica de deformaciones en operacion (W+P1+T1)30



Imagen 56: tabla y representacion grafica de deformaciones por accion del viento (Wind)	30
Imagen 57: tabla con las frecuencias naturales del modelo	31
Imagen 58: valores para el modo de vibracion primero 2Hz	31
Imagen 59: valores para el modo de vibracion segundo 3,52Hz	32
Imagen 60: valores para el modo de vibracion tercero 7,32Hz	32
Imagen 61: valores para el modo de vibracion cuarto 22,76 Hz.....	32
Imagen 62: valores para el modo de vibracion quinto 23,94 Hz.....	33
Imagen 63: valores para el modo de vibracion sexto 31,12 Hz.....	33
Imagen 64: valores para el modo de vibracion septimo 40,98 Hz	33
Imagen 65: selección de diámetro línea 4-C30-10"	34
Imagen 66: selección del ambiente de trabajo	34
Imagen 67: programación completa de la línea 4-C30-10" en CaePipe.....	35
Imagen 69: representación a una línea y de los nodos del modelo 4-C30-10"	35
Imagen 68: representación en 3D del modelo 4-C30-10"	35
Imagen 71: valores brida WeldNeck obtenidos de PipeDataPro	36
Imagen 70: declaración brida CaePipe.....	36
Imagen 72: resultados tensionales del modelo 4-C30-10"	37
Imagen 73: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 4-C30-10"	37
Imagen 74: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 4-C30-10"	37
Imagen 75: comparativa de las tensiones SL	38
respecto de la norma SH del modelo 4-C30-10"	38
Imagen 76: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 4-C30-10"	38
Imagen : comparativa de las tensiones SL	38
respecto de la norma SH del modelo 4-C30-10"	38
Imagen 78: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 4-C30-10"	38
Imagen 77: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 4-C30-10"	38
Imagen 79: fuerzas en la unión entre la torre de fraccionamiento y la línea 4-C30-10"	39
Imagen 80: valores de fuerzas para la unión entre la línea 4-C30-10" y el intercambiador E-102	39
Imagen 81: valores de fuerzas sobre el soporte largo Ñ.....	39
Imagen 82: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-4"	40
Imagen 83: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-4"	40
Imagen 84: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-4"	40
Imagen 85: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-4"	41
Imagen 86: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-4"	41
Imagen 87: modos de vibración de la línea 4-C30-10"	41
Imagen 89: elección del diámetro y su Schedule.....	42
Imagen 88: selección de material para línea 5-C30-8"	42
Imagen 90: condiciones de trabajo para la línea 5-C30-8"	42



Imagen 91: configuración del modelo de la línea 5-C30-8”43

Imagen 92: representación del modelo 5-C30-8” en 3D43

Imagen 93: representación a una línea del modelo 5-C30-8” y sus nodos43

Imagen 94: valores otorgados al Limit stop44

Imagen 94: valores de las bridas44

Imagen 95: tensiones en los diferentes momentos de carga de la línea 5-C30-8”44

Imagen 96: resultados tensionales del modelo 5-C30-8”45

Imagen 97: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 5-C30-8”45

Imagen 98: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 5-C30-8”45

Imagen 99: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 5-C30-8”46

Imagen 100: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 5-C30-8”46

Imagen 101: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 5-C30-8”46

Imagen 102: valores del anclaje de la línea 5-C30-8” al deposito47

Imagen 103: valores del anclaje de la línea 5-C30-8” al intercambiador47

Imagen 104: resultado de fuerzas que ejerce la línea 5-C30-8” sobre el soporte largo Ñ47

Imagen 105: desplazamientos en vacío (W) del modelo 5-3C30-848

Imagen 106: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 5-3C30-8”48

Imagen 107: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 5-3C30-8”48

Imagen 108: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 5-3C30-8”49

Imagen 109: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 5-3C30-8”49

Imagen 110: frecuencias naturales de la línea 5-C30-8”49

Imagen 111: selección de material para línea 9-C30-4”50

Imagen 112: valores para el diámetro y Schedule de la línea 9-C30-4”50

Imagen 113: condición de trabajo de la línea 9-C30-4”51

Imagen 114: ventana para la selección del material del Trunnion51

imagen 116: ventana para declarar las condiciones de trabajo del tunnion.51

Imagen 115: ventana para la declaracion del perfil de diseño del trunion51

Imagen 117: diseño de la línea 9-C30-4” con todos los accesorios.....52

Imagen 118: representación grafica del modelo introducido en la imagen anterior.....52

Imagen 119: valores de las bridas del modelo53

Imagen 120: valores para las válvulas del modelo53

Imagen 121: diseño de la línea 9-C30-4”-TRUNNION53

Imagen 122: representación gráfica de la línea 9-C30-4”-TRUNNION53

Imagen 123: resultados del modelo 9-C30-4”54

Imagen 124: representación gráfica de los resultados SL+SO del modelo 9-C330-4”54

Imagen 125: resultado de las tensiones del modelo 9-C330-4”-TRUNNION55

Imagen 126: representación gráfica de los resultados SL+SO de 9-C330-4”-TRUNNION55

Imagen 127: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 9-C30-4”56



Imagen 127: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 9-C30-4” 56

Imagen 128: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 9-C30-4” 57

Imagen 129: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 9-C30-4” 57

Imagen 130: resultados de la conexión de la línea al intercambiador E-101 en el nodo 10..... 57

Imagen 131: resultados del apoyo de la línea sobre le portante CD 58

Imagen 132: resultados de la restricción vertical puesta en el nodo 90A 58

Imagen 133: valores y representación de la deformación en modo operación 58

Imagen 134: valores de los modos de vibración del modelo 9-C30-4” 59

Imagen 136: condiciones de trabajo para la línea 5-C30-8” 59

Imagen 135: valores de la sección del modelo 10-A15-6” 59

Imagen 137: programación del modelo de la línea 10-A15-6” 60

Imagen 138: representación gráfica del modelo de la línea 10-A15-6” 60

Imagen 139: valores de catálogo de PipeDataPro de una brida WeldNeck de 6” clase 150# RF..... 61

Imagen 140: introducción de valores de la brida en el programa CaePipe 61

Imagen 141: valores de una válvula de globo de 6” NPS RF y clase 150#..... 61

Imagen 142: introducción de los valores de la calcula en el programa CaePipe 62

Imagen 143. resultados tensionales del modelo 10-A15-6” 62

Imagen 144: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 10-A15-6” 62

Imagen 145: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 10-A15-6” 63

Imagen 146: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 10-A15-6” 63

Imagen 147: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 10-A15-6” 63

Imagen 148: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 10-A15-6” 64

Imagen 149: resultados en la unión de la línea al intercambiador. 64

Imagen 150: resultados sobre el apoyo coroto W 64

Imagen 151: valores sobre el portante CD..... 65

Imagen152: desplazamientos en vacío (W) del modelo10-A15-6” 65

Imagen 153: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo10-A15-6” 65

Imagen 154: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo10-A15-6” 66

Imagen 155: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo10-A15-6” 66

Imagen 156: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 10-A15-6” 66

Imagen 157: valores para los diferentes modos de vibración 67

Imagen 158: sección de tubería del modelo 11-A15-6” 67

Imagen 159: condiciones de trabajo para la línea 11-A15-6” 68

Imagen 160: material para trunnio de 68

línea 11-A15-6” 68

Imagen 162: carga ambiental para el perfil 68

Imagen 161: elección del perfil para trunnio de línea 11-A15-6” 68

Imagen 163: modelo 11-A15-6” 69



Imagen 164: representación gráfica del modelo 11-A15-6" 69

Imagen 165: representación a una línea del modelo con la ubicación de los nodos. 69

Imagen 166: resultados tensionales del modelo 11-A15-6" 70

Imagen 167: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 11-A15-6" 70

Imagen 168: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 11-A15-6" 71

Imagen 169: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 11-A15-6" 71

Imagen 170: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 11-A15-6" 71

Imagen 171: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 11-A15-6" 72

Imagen 172: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 11-A15-6" 72

Imagen 173: resultados para el anclaje de la línea al intercambiador E-101 72

Imagen 174: valores de la línea 11-A15-6" sobre el trunnio 73

Imagen 175: valores para el apoyo de la línea 11-A15-6" sobre el soporte corto W 73

Imagen 176: valores para el apoyo de la línea 11-A15-6" sobre la viga transversal CD 73

Imagen :177 desplazamientos en vacío (W) del modelo 11-A15-6" 74

Imagen 178: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 11-A15-6" 74

Imagen 179: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 11-A15-6" 74

Imagen 180: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 11-A15-6" 75

Imagen 181: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 11-A15-6" 75

Imagen 182: valores de las frecuencias naturales del modelo 11-A15-6" 75

Imagen 184: valores de la condición de trabajo de la línea 14-A15-6" 76

Imagen 183: valores para la sección de 76

Imagen 185: configuración del modelo 14-A15-6" en CaePipe 77

Imagen 186: Representación en grafica del modelo introducido en CaePipe 77

Imagen 187: representación en alambre del modelo localizando todos los nodos. 77

Imagen 188: resultados tensionales del modelo 14-A15-6" 78

Imagen 189: representación grafica de las tensiones SL del modelo 14-A15-6" 78

Imagen 190: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 14-A15-6" 79

Imagen 191: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 14-A15-6" 79

Imagen 192: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 14-A15-6" 79

Imagen 193: representación grafica de las tensiones SL+SO del modelo 14-A15-6" 80

Imagen 194: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 14-A15-6" 80

Imagen 195: valores del anclaje de la línea 14-A15-6" al intercambiador E-102 80

Imagen 196: valores del modelo 14-A15-6" sobre soporte largo Ñ 81

Imagen 197 : valores del apoyo de la línea 14-A15-6" sobre la viga transversal AB 81

Imagen 198: desplazamientos en vacío (W) del modelo 14-A15-6" 81

Imagen 199: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 14-A15-6" 82

Imagen 200: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 14-A15-6" 82

Imagen 201: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 14-A15-6" 82



Imagen 239: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 7-C30-4”95

Imagen 239: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 7-C30-4”95

Imagen 240: fuerzas en la union entre la linea 7-C30-4” y la torre de fraccionamiento.96

Imagen 241: fuerzas sometidas al trunion de la linea 7-C30-4”96

Imagen 242: fuerzas que transmite el modelo 7-C30-4” a la viga transversal CD96

Imagen 243: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-4”97

Imagen 244: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-4”97

Imagen 245: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-4”98

Imagen 246: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-4”98

Imagen 247: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-4”99

Imagen 248: valores e los modos de vibración del modelo 7-C30-4”99

Imagen 249: sección del modelo 7-C30-6”100

Imagen 250: condiciones de trabajo de la línea 7-C30-6”100

Imagen 251: programación del modelo 7-C30-6”101

Imagen 252: Representación del modelo a una línea con posición de nodos101

Imagen 252: representación en 3D del modelo 7-C30-6”101

Imagen 253: Valores de catálogo de una brida WeldNeck de 6”, clase 300# RF y SCH estándar102

Imagen 254: ventana para introducir la brida WN en CaePipe102

Imagen 255: valores geométricos de válvula de globo de 6” NPS RF y clase 300#102

Imagen 256: Ventana para introducir los valores de la válvula en el programa.103

Imagen 257: valores de una tee de 6” con todas sus conexiones del mismo tamaño103

Imagen 258: resultados tensionales del modelo 7-C30-6”104

Imagen 259: representación gráfica de las tensiones SL del modelo 7-C30-6”104

Imagen 260: comparativa de las tensiones SL respecto de la norma SH del modelo 7-C30-6”105

Imagen 261: representación gráfica de las tensiones térmicas SE del modelo 7-C30-6”105

Imagen 262: comparativa entre tensiones térmicas SE y de la norma SA del modelo 7-C30-6”106

Imagen 263: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 7-C30-6”106

Imagen 264: comparativa entre las tensiones SL + SO respecto de la norma SHO de 7-C30-6”107

Imagen 265: valores de la unión entre la línea 7-C30-6” y la tobera de descarga de la bomba P-101B. 107

Imagen 266: valores de la unión entre la línea 7-C30-6” y la tobera de descarga de la bomba P-101A. 108

Imagen 267: valores del soporte de la línea 7-C30-6” sobre la viga transversal AB108

Imagen 268: desplazamientos en vacío (W) del modelo 7-C30-6”108

Imagen 269: desplazamientos en modo sustentación (W+P) del modelo 7-C30-6”109

Imagen 270: desplazamientos debidos a la dilatación (T1) del modelo 7-C30-6”109

Imagen 271: desplazamientos en modo operación (W+P1+T1) del modelo 7-C30-6”109

Imagen 272: desplazamientos debidos al viento (Wind) de la unidad 7-C30-6”110

Imagen 273: modos de vibración de la línea 7-C30-6”110

Imagen 274: valores de las dos secciones introducidas en CaePipe y como se muestran.....111



Imagen 275: condiciones de trabajo de la línea 6-C30-10” 111

Imagen 276 programación del modelo de acuerdo con los planos originales..... 112

Imagen 278: representación a una línea del modelo 6-C30-10” ORIGINAL y sus nodos 112

Imagen 277: representación en 3D del modelo 6-C30-10” ORIGINAL..... 112

Imagen 279: valores de PipeDataPro para una válvula de globo de 10” RF y clase 300#..... 113

Imagen 280: valores introducidos en el programa para una válvula de globo 10” RF 300#..... 113

Imagen 281: valores según PipeDataPro para una tee de 8” con todos las conexiones iguales..... 114

Imagen 282: introducción de tee en CaePipe 114

Imagen 283: valores de PipeDataPro para un reductor excéntrico de 10” a 8” 114

Imagen284 : configuración de los reductores concéntricos para el equipo 115

Imagen 285: resultados tensionales del modelo 6-C30-10” ORIGINAL..... 115

Imagen 286: representación grafica de las tensiones SL+SO del modelo 6-C30-10” ORIGINAL 116

Imagen 287: valores para la conexión entre el modelo 6-C30-10” ORIGINAL y el deposito..... 116

Imagen 288: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10” ORIGINAL y la tobera de succión de la bomba P-101A..... 117

Imagen 289: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10” ORIGINAL y la tobera de succión de la bomba P-101B..... 117

Imagen 290: programación del modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO 118

Imagen 292: representación a una línea del modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO y sus nodos 118

Imagen 291. representación en 3D del modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO 118

Imagen 293: resultados tensionales del modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO..... 119

Imagen 294: representación gráfica de las tensiones SL+SO del modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO 119

Imagen 295: resultados de la unión entre el depósito V-101 y el modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO 120

Imagen 296: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO y la tobera de succión de la bomba P-101A..... 120

Imagen 297: resultados de la unión entre el modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO y la tobera de succión de la bomba P-101B..... 120

Imagen 298: valores del soporte previo a bomba P-101A 121

Imagen 299: valores del soporte previo a bomba P-101B 121

Imagen 300: valores de los diámetros introducidos 122

Imagen 301: condiciones de carga para las bombas..... 122

Imagen 302: programación del modelo de la bomba 122

Imagen 304: representación a una línea con la posición de los nodos del modelo de la bomba 123

Imagen 303: representación en 3D del modelo de la bomba 123

Imagen 305: selección de valores de la bomba 123

Imagen 306: fuerzas de la línea 6-C30-10” ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 A 124

Imagen 307: fuerzas de la línea 7-C30-6” en la tobera de descarga de P-101 A..... 124

Imagen 308: resultado de la bomba P-101 A caso 1 125

Imagen 309: fuerzas de la línea 6-C30-10” ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 B 126



Imagen 310: fuerzas de la línea 7-C30-6” en la tobera de descarga de P-101 B.....	126
Imagen 311: resultado de la verificación a la norma API-610.....	126
Imagen 312: fuerzas de la línea 6-C30-10” ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 A	127
imagen:313 fuerzas de la línea 7-C30-6” en la tobera de descarga de P-101 A.....	127
Imagen 314: resultado del equipo rotativo P-101 A	128
conectado a los modelo 6-C30-10” RESOLUTIVO y 7-C30-6”	128
Imagen 315: fuerzas de la línea 6-C30-10” ORIGINAL en la tobera de succión de P-101 B.....	129
Imagen 316: fuerzas de la línea 7-C30-6” en la tobera de descarga de P-101 A.....	129
Imagen 317: resultado de P-101 B junto a los modelos 6-C30-10” RESOLUTIVO y 7-C30-6”	129

Tablas:

Tabla 1: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 A.....	124
Tabla 2: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 B.....	125
Tabla 3: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 A.....	127
Tabla 4: fuerzas que actúan sobre las toberas de la bomba P-101 B.....	128

5. Anejo “Cálculo estructural”

(163 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: datos geométricos y físicos HEB 220	5
Imagen 2: datos geométricos y físicos HEB 140	6
Imagen 3: datos geométricos y físicos HEB 160	6
Imagen 4: datos geométricos y físicos HEM-240	7
imagen 5: tabla 3.1 DB SE-AE con los valores de sobrecarga de uso	13
Imagen 6: Figura D.1 valor básico de la velocidad del viento V_b en España.....	16
Imagen 7: tabla 3.4 DB-SE-AE valores coeficiente de exposición.....	17
Imagen 8: tabla D.4 del DB-SE-AE	18
Imagen 9: captura del NSCE-02 apartado 1.2.3. criterios de aplicación de la norma	20
Imagen 10: tablas 11.a, 11.b, 11.c, 11.d con los valores de simultaneidad de las cargas.	24
Imagen 11: Tabla 12.1 perteneciente al EAE-12.	25
Imagen 12: tabla del apartado 12.1 del EAE-12 con valores de mayoración.	26
Imagen 13: representación de las fuerzas sobre los pórticos del rack en estado limite ultimo	28
Imagen 14: representación de las fuerzas sobre los pórticos del rack en estado limite de servicio.....	29
Imagen 15: representación de las fuerzas sobre viga transversal AB en estado limite ultimo	31
Imagen 16: representación de las fuerzas sobre viga transversal AB en estado límite de servicio	32
Imagen 17: representación de las fuerzas sobre viga transversal CD en estado limite ultimo	34



Imagen 18: representación de las fuerzas sobre viga transversal CD en estado límite de servicio 35

Imagen 19: representación de las fuerzas sobre soporte corto W en estado limite ultimo 37

Imagen 20: representación de las fuerzas sobre soporte corto W en estado límite de servicio 38

Imagen 21: representación la fuerza sobre soporte corto W en su hipótesis mas desfavorable 39

Imagen 22: representación de las fuerzas sobre soporte largo Ñ en estado limite ultimo 41

Imagen 23: representación de las fuerzas sobre soporte largo Ñ en estado límite de servicio..... 42

Imagen 24: representación la fuerza sobre soporte largo Ñ en su hipótesis más desfavorable 43

imagen 25: prontuario vigas biempotradas, carga puntual genérica 44

imagen 26: prontuario vigas biempotradas con carga uniforme en todo el vano 44

Imagen 27: representación gráfica de los valores de carga para la viga transversal AB en estado limite Ultimo 45

Imagen 28: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal AB en Estado Limite ultimo 49

Imagen 29: valores del perfil HEB-140 para vigas transversales..... 50

Imagen 30: representación gráfica de valores de carga para la viga transversal AB en ELS..... 53

Imagen 31: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal AB en Estado Limite de Servicio 54

Imagen 32: representación de valores de carga para la viga transversal CD en ELU..... 57

Imagen 33: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal CD en Estado Limite ultimo 61

Imagen 34: valores del perfil HEB-140 para vigas transversales..... 62

Imagen 35: representación gráfica de valores de carga para la viga transversal CD en ELS..... 64

Imagen 36: diagramas de reacciones y momentos en los planos YX e ZX de la viga transversal CD en Estado Limite de Servicio 65

Imagen 37: representación del pórtico en ELU..... 68

Imagen 38: diagrama cortantes pórtico ELU..... 70

Imagen 39: diagrama momentos pórtico ELU..... 70

Imagen 40: representación del pórtico en ELS..... 73

Imagen 41: diagrama cortantes pórtico ELS 74

Imagen 42: diagrama momentos pórtico ELS 75

Imagen 43: representación gráfica del pilar HI 76

Imagen 44: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto H y por la viga transversal AB en el punto A..... 76

Imagen 45: diagrama axiales compresión pórtico + viga transversal AB en punto A en ELU 76

Imagen 46: diagramas de momentos del pilar HI originados por diferentes fuerzas en ELU 77
(proporcionalidad de triángulos) 77

Imagen 47: representación gráfica del pilar MN..... 81

Imagen 48: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto M, por la viga transversal AB en el punto B y por la viga transversal CD en el punto C 81

Imagen 49: diagramas de Axiles y momentos del pilar MN originados por el pórtico y la viga AB 82



Imagen 50: diagramas de momentos del pilar MN originados las vigas transversales AB y CD..... 82

Imagen 51: representación gráfica del pilar UV 86

Imagen 52: representación de las cargas transmitidas por el pórtico en el punto U y por la viga transversal CD en el punto D..... 86

Imagen 53: diagrama axiales pórtico + viga transversal CD en punto D y momentos pórtico..... 86

Imagen 54: diagramas de momentos del pilar UV originados por la viga transversal CD..... 87

Imagen 55: hipótesis de cálculo para el soporte corto W en ELU 90

Imagen 56: primer diagrama reacciones soporte corto W en ELU 91

Imagen 57: segundo diagrama reacciones soporte corto W en ELU..... 92

Imagen 58: hipótesis de cálculo soporte corto W en ELS..... 94

Imagen 59: representación gráfica de las cargas del soporte largo Ñ en ELU..... 96

Imagen 60: primer diagrama reacciones soporte Largo Ñ en ELU 98

Imagen 61: segundo diagrama reacciones soporte Largo Ñ en ELU 98

Imagen 62: hipótesis de cálculo soporte largo Ñ en ELS 101

Imagen 63: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje de los pilares del rack 106

Imagen 64: representación del área portante de la placa 107

Imagen 65: valores del acero B400S 109

Imagen 66: representación del anclaje de la placa en el cimiento que sobresale del pavimento 110

Imagen 67: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje del soporte corto W 110

Imagen 68: representación del área portante de la placa 111

de anclaje del soporte corto W 111

Imagen 69: representación del anclaje de la placa en el cimiento que sobresale del pavimento 114

Imagen 70: valores geométricos en predimensionamiento de la placa de anclaje del soporte largo Ñ.. 114

Imagen 71: representación del área portante de la placa de anclaje del soporte largo Ñ 115

Imagen 72: representación del anclaje de la placa en el cimiento que sobresale del pavimento 117

Imagen 73: valores de carga de la viga transversal AB en ELS 118

Imagen 74: representación del desplazamiento máximo en la viga transversal AB 121

Imagen 75: representación de los valores de la fuerza en dirección X de la viga transversal AB 122

Imagen 76: representación de los valores de la fuerza en dirección Y de la viga transversal AB 122

Imagen 77: representación de los valores de momentos respecto al eje X..... 123

Imagen 78: representación de los valores de momentos respecto al eje Y 123

Imagen 79: representación de los valores de tensión normal máxima para la viga transversal AB 124

Imagen 80: representación de los valores de tensión normal mínima para la viga transversal AB 124

Imagen 81: representación de los valores de corte en el eje X de la viga transversal AB..... 125

Imagen 82: representación de los valores de corte en el eje Y de la viga transversal AB..... 125

Imagen 83: valores de carga de la vida transversal CD en ELS..... 126

Imagen 84: representación del desplazamiento máximo en la viga transversal CD 129

Imagen 85: representación de los valores de la fuerza en dirección X de la viga transversal CD 130



Imagen 86: representación de los valores de la fuerza en dirección Y de la viga transversal CD 130

Imagen 87: representación de los valores de momentos respecto al eje X en la v.transversal CD 131

imagen 88: representación de los valores de momentos respecto al eje Y 131

Imagen 89: representación de los valores de tensión normal máxima para la viga transversal AB 132

Imagen 90: representación de los valores de tensión normal mínima para la viga transversal AB..... 132

Imagen 91: representación de los valores de corte en el eje X de la viga transversal CD 133

Imagen 92: representación de los valores de corte en el eje Y de la viga transversal CD..... 133

Imagen 93: hipótesis de cálculo para el pórtico en ELS 134

Imagen 94: desplazamientos máximos en el pórtico 136

Imagen 95: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y 137

Imagen 96: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y 137

Imagen 97: valores del momento en el eje X..... 138

Imagen 98: valores muy pequeños de los momentos en el eje Y 138

Imagen 99: tensión normal Smax en el pórtico 139

Imagen 100: tensión normal Smin en el pórtico 139

Imagen 101: valores para el esfuerzo axial en el pórtico 140

Imagen 102: tensiones de corte en dirección de Y del pórtico 140

Imagen 103: hipótesis de cálculo soporte corto W en ELS 141

Imagen 104: representación del desplazamiento máximo del soporte corto W 144

Imagen 106: representación de los valores de la fuerza en dirección Y del soporte corto W 145

Imagen 105: representación de los valores de la fuerza en dirección X del soporte corto W 145

Imagen 108: representación de los valores de momentos respecto al eje X del soporte corto W 145

Imagen 107: representación de los valores de la fuerza en dirección Z del soporte corto W 145

Imagen 110: representación de los valores de momentos respecto al eje Z del soporte corto W 146

imagen 109: representación de los valores de momentos respecto al eje Y del soporte corto W 146

Imagen 112: representación de los valores de tensión normal mínima para el soporte corto W 146

Imagen 111. representación de los valores de tensión normal máxima para el soporte corto W 146

Imagen 114: representación de los valores de corte en el eje Y del soporte corto W 147

Imagen 113: representación de los valores de corte en el eje X del soporte corto W 147

Imagen 115: representación de los valores tensionales del soporte corto W 147

Imagen 116: hipótesis de cálculo soporte largo Ñ en ELS 148

Imagen 117: representación del desplazamiento máximo del soporte Largo Ñ 151

Imagen 119: representación de los valores de la fuerza en dirección Y del soporte Largo Ñ 152

Imagen 118: representación de los valores de la fuerza en dirección X del soporte Largo Ñ 152

Imagen 121: representación de los valores de momentos respecto al eje X del soporte Largo Ñ 152

Imagen 120: representación de los valores de la fuerza en dirección Z del soporte Largo Ñ 152

Imagen 123: representación de los valores de momentos respecto al eje Z del soporte Largo Ñ 153

Imagen 122: representación de los valores de momentos respecto al eje Y del soporte Largo Ñ 153



Imagen 125: representación de los valores de tensión normal mínima para el soporte Largo Ñ..... 153

Imagen 124: representación de los valores de tensión normal máxima para el soporte Largo Ñ..... 153

Imagen 127: representación de los valores de corte en el eje Y del soporte Largo Ñ 154

Imagen 126: representación de los valores de corte en el eje X del soporte Largo Ñ 154

Imagen 128: representación de los valores tensionales del soporte Largo Ñ..... 154

Imagen 129: hipótesis de cálculo del rack completo en ELS 155

Tabla 144: propiedades físicas de los pórticos..... 155

Imagen 130: desplazamientos máximos en el Rack completo 158

..... 158

Imagen 131: valores de los esfuerzos axiales en dirección X en el Rack completo..... 158

..... 159

Imagen 132: valores de los esfuerzos axiales en dirección Y en el Rack completo..... 159

Imagen 133: valores de los esfuerzos axiales en dirección Z en el Rack completo..... 159

Imagen 134: valores del momento en el eje X en el Rack completo..... 160

Imagen 135: valores de los momentos en el eje Y en el Rack..... 160

Imagen 136: valores de los momentos en el eje Z en el Rack..... 161

Imagen 137: tensión normal Smax del Rack 161

Imagen 138: tensión normal Smin del Rack 162

Imagen 139: tensiones de corte en dirección de Y del Rack 162

Imagen 140: tensiones de corte en dirección de Y del Rack 163

Imagen 141: tensiones torsionales del Rack 163

Tablas:

Tabla 1: valor del peso propio del dintel 5

Tabla 2: valor del peso propio de cada viga transversal..... 6

Tabla 3: valor del peso propio del soporte corto W 6

Tabla 4: valor del peso propio del soporte largo Ñ 7

Tabla 5: pesos individuales de las tuberías llenas y vacías..... 8

Tabla 6: valor de la carga de las tuberías 8

Tabla 7: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el portante izquierdo..... 9

Tabla 8: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el portante derecho 10

Tabla 9: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el soporte corto W 11

Tabla 10: valores de carga de las tuberías apoyadas sobre el soporte largo Ñ..... 12

Tabla 11: valores de la sobrecarga de uso 13

Tabla 12: valores tipificados presión dinámica del viento 17

Tabla 13: valores de coeficiente de exposición..... 17

Tabla 14: valores de la aceleración sísmica y coeficiente 20

Tabla 15: sumatorio de los diámetros de las tuberías sobre el Rack 21



Tabla 16: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre portante izquierdo AB.....	22
Tabla 17: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre portante derecho CD	22
Tabla 18: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre el soporte corto	23
Tabla 19: área de influencia de las tuberías que apoyan sobre el soporte corto	23
Tabla 20: coeficientes de simultaneidad para las cargas variables.....	25
Tabla 21: valores de las cargas.....	27
Tabla 22: resultado de las cargas sobre los pórticos.....	29
Tabla 23: valores de las cargas sobre el portante izquierdo AB.....	30
Tabla 24: resultados de las cargas sobre el pórtico izquierdo AB	32
Tabla 25: valores de las cargas sobre el portante derecho CD	33
Tabla 26: resultado de las cargas sobre portante derecho CD	35
Tabla 27: valores de carga sobre el soporte corto W.....	36
Tabla 28: resultado de todas las cargas que actúan sobre el soporte corto W	38
Tabla 29: valores de carga sobre el soporte largo Ñ.....	40
Tabla 30: resultados de todas las cargas que actúan sobre el soporte largo Ñ	43
Tabla 31: resultados reacciones producidas por cargas puntuales en plano YX.....	45
Tabla 32: resultados reacciones producidas por la carga distribuida en plano YX	46
Tabla 33: RESULTADO TOTAL de las reacciones en el plano YX de los puntos A y B.....	46
Tabla 34: resultados parciales de las reacciones en el plano ZX por cargas puntuales	46
Tabla 35: RESULTADO TOTAL de las reacciones en los puntos A y B en el plano ZX.....	46
Tabla 36: resultados de los momentos producidos por las cargas puntuales en el plano YX.....	47
Tabla 37: resultados de los momentos producidos por la carga distribuida en el plano YX.....	47
Tabla 38: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos A y B en el plano YX	47
Tabla 39: resultados parciales de los momentos en el plano ZX por cargas puntuales	48
Tabla 40: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos A y B en el plano ZX.....	48
Tabla 41: resultados totales con las reacciones de la viga transversal AB en ELU.....	48
Tabla 42: resultados totales con los momentos de la viga transversal AB en ELU.....	48
Tabla 43: resultados totales con las reacciones de la viga transversal AB en ELU.....	53
Tabla 44: resultados totales con los momentos de la viga transversal AB en ELU	54
Tabla 45: deformaciones de la viga transversal AB en el plano YX por la carga repartida W_{AB}	55
Tabla 46: deformaciones viga transversal AB en el plano YX por las cargas puntuales P1, P2 y P3.....	55
Tabla 47: deformaciones viga transversal AB en el plano ZX por las cargas puntuales P2 y P3.....	56
Tabla 48: resultados reacciones producidas por cargas puntuales en plano YX.....	57
Tabla 49: resultados reacciones producidas por la carga distribuida en plano YX	58
Tabla 50: RESULTADO TOTAL de las reacciones en los puntos C y D en el plano YX.....	58
Tabla 51: resultados parciales de las reacciones en el plano ZX por cargas puntuales	58
Tabla 52: resultado total de las reacciones en los puntos C y D en el plano ZX.....	58
Tabla 53: resultados de los momentos producidos por las cargas puntuales en el plano YX.....	59



Tabla 54: resultados de los momentos producidos por la carga distribuida en el plano YX 59

Tabla 55: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos C y D en el plano YX..... 59

Tabla 56: resultados parciales de los momentos en el plano ZX por cargas puntuales 60

Tabla 57: RESULTADO TOTAL de la suma de momentos en los puntos C y D en el plano ZX..... 60

Tabla 58: resultados totales con las reacciones de la viga transversal CD en ELU 60

Tabla 59: resultados totales con los momentos de la viga transversal CD en ELU..... 60

Tabla 60: resultados totales de las reacciones de la viga transversal CD en ELS..... 64

Tabla 61: resultados totales con los momentos de la viga transversal CD en ELS 64

Tabla 62: deformaciones de la viga transversal CD en el plano YX por la carga repartida W_{CD} 66

Tabla 63: deformaciones v.transversal CD en el plano YX por cargas puntuales P4,P5,P6, P7 y P8 66

Tabla 64: deformaciones v.transversal CD en el plano ZX por cargas puntuales P4,P5,P6, P7 y P8..... 67

Tabla 65: tabla de Cross del pórtico en ELU 69

Tabla 66: valores de cortantes para cada punto en ELU 69

Tabla 67: tabla de Cross del pórtico en ELS..... 74

Tabla 68: valores de cortantes para cada punto en ELS..... 74

Tabla 69: deformaciones en el centro del dintel del pórtico en ELS 75

Tabla 70: resultados del soporte corto W en ELU en el empotramiento 91

Tabla 71: resultados del soporte corto W en ELU en la unión entre viga y pilar 91

Tabla 72: valores en el empotramiento del soporte corto W en Estado límite de Servicio 95

Tabla 73: deformación por torsión..... 95

Tabla 74: resultados del soporte Largo \tilde{N} en ELU en el empotramiento..... 97

Tabla 75: resultados del soporte Largo \tilde{N} en ELU en la unión entre viga y pilar 97

Tabla 76: valores en el empotramiento del soporte corto W en Estado límite de Servicio 102

Tabla 77: resultados del giro del soporte largo \tilde{N} con diferentes perfiles. 102

Tabla 78: valores verticales sobre los trunnion..... 103

Tabla 79: datos geométricos de la placa de anclaje 106

Tabla 80: valores para el dimensionamiento de la placa 107

Tabla 81: valores gráficos..... 107

Tabla 82: datos geométricos de la placa de anclaje del soporte corto W..... 111

Tabla 83: valores para el dimensionamiento de la placa 111

Tabla 84: valores gráficos..... 112

Tabla 85: datos geométricos de la placa de anclaje del soporte corto W..... 115

Tabla 86: valores para el dimensionamiento de la placa 115

Tabla 87: valores gráficos..... 116

Tabla 88: propiedades físicas de la viga transversal AB 119

Tabla 89: propiedades del material de fabricación de la viga transversal AB 119

Tabla 90: propiedades geométricas y mecánicas del perfil de la viga transversal AB..... 119

Tabla 91: valores carga P1y Tabla 92: valores carga P2y 120



Tabla 93: valores carga P1y	Tabla 94: valores carga P2y	120
Tabla 95: valores carga P1y		120
Tabla 96: valores carga P2y		120
Tabla 97: resultados de cálculo en los extremos empotrados		121
Tabla 98: resultados estáticos en la viga transversal AB en ELS		121
Tabla 99: propiedades físicas de la viga transversal CD		126
Tabla 100: propiedades del material de fabricación de la viga transversal CD		126
Tabla 101: propiedades geométricas y mecánicas del perfil de la viga transversal CD		127
Tabla 102: valores carga P4y	Tabla 103: valores carga P5y	127
Tabla 104: valores carga P6y	Tabla 105: valores carga P7y	127
Tabla 106: valores carga P8y	Tabla 107: valores carga P5z	128
Tabla 108: valores carga P7z	Tabla 109: valores carga P8z	128
Tabla 110: valores carga repartida WCD-ELS		128
Tabla 111: resultados de cálculo en los extremos empotrados de la viga transversal CD		128
Tabla 112: resultados estáticos en la viga transversal AB en ELS		129
Tabla 113: propiedades físicas de los pórticos		134
Tabla 114: materiales de fabricación del pórtico y sus propiedades		134
Tabla 115: propiedades geométricas y mecánicas de las secciones		135
Tabla 116: propiedades de la carga repartida sobre el dintel		135
Tabla 117: valores en los empotramientos del pórtico		135
Tabla 118: resultados del pórtico en ELS		136
Tabla 119: propiedades físicas del soporte Corto W		141
Tabla 120: propiedades del material de fabricación del soporte Corto W		142
Tabla 121: propiedades geométricas y mecánicas del soporte Corto W		142
Tabla 122: valores carga P9y	Tabla 123: valores carga P10y	142
Tabla 124: valores carga P9z	Tabla 125: valores carga P10z	143
Tabla 126: valores carga repartida Wñ-ELS		143
Tabla 127: resultados de cálculo en el empotramiento del soporte corto W		143
Tabla 128: resultados estáticos del soporte corto W en ELS		144
Tabla 129: propiedades físicas del soporte Largo Ñ		148
Tabla 130: propiedades del material de fabricación del soporte Largo Ñ		148
Tabla 131: propiedades geométricas y mecánicas del soporte Largo Ñ		149
Tabla 132: valores carga P11y	Tabla 133: valores carga P12y	149
Tabla 134: valores carga P13y	Tabla 135: valores carga P14y	149
Tabla 136: valores carga P11z	Tabla 137: valores carga P12z	150
Tabla 138: valores carga P13z	Tabla 139: valores carga P14z	150
Tabla 140: valores carga repartida Wñ-ELS		150
Tabla 142: resultados de cálculo en el empotramiento del soporte corto W		150



Tabla 143: resultados estáticos del soporte Largo Ñ en ELS	151
Tabla 145: materiales de fabricación de los pórtico del Rack y sus propiedades	155
Tabla 146: propiedades geométricas y mecánicas de los perfiles HEB-220.....	156
Tabla 147: propiedades geométricas y mecánicas de los perfiles HEB-140.....	156
Tabla 148: valores en los empotramientos de los pilares	157
Tabla 149: resultados del pórtico en ELS.....	157

6. Anejo “Digitalización en AVEVA E3D (Everything 3D)”

(34 páginas)

Imágenes:

Imagen 1: imagen del programa con colores y letras corporativas	3
Imagen 2: elección de la industria a la que ira enfocado el modelo	4
Imagen 3: ventana de iniciación del programa AVEVA E3D	4
Imagen 4: Interfaz principal del programa E3D.....	5
Imagen 5: opciones generales de AVEVA E3D.....	5
Imagen 6: venta de Project en AVEVA E3D	6
Imagen 7: venta de Home en AVEVA E3D	6
Imagen 8: venta View en AVEVA E3D.....	6
Imagen 9: venta de Tools en AVEVA E3D	6
Imagen 10: venta de Mamage en AVEVA E3D	7
Imagen 11: venta Desing Aids en AVEVA E3D	7
Imagen 12: venta de Admin en AVEVA E3D	7
Imagen 13: modo General para modelar en AVEVA E3D	7
Imagen 14: modo Equipment para modelar en AVEVA E3D	8
Imagen 15: modo Piping para modelar en AVEVA E3D.....	8
Imagen 16: modo Structures, ventana para modelar las secciones de los perfiles en AVEVA E3D	8
Imagen 17: modo Structures, ventana para modelar paneles y plataformas en AVEVA E3D.....	8
Imagen 18: modo Structures, ventana para modelar paredes y suelos en AVEVA E3D.....	9
Imagen 19: modo Structures, ventana para modelar escaleras y barandillas en AVEVA E3D	9
Imagen 20: modo Supports para modelar en AVEVA E3D	9
Imagen 21: organización las bancadas y cimientos en el mismo Site y diferentes Zone	10
Imagen 22: representación 3D del suelo y las bancadas del modelo.....	10
Imagen 23: organización las bancadas y cimientos en el mismo Site y diferentes Zone	11
Imagen 24: representación en 3D de las estructuras del Rack sobre el Grid creado para ello	11
Imagen 26: organización del soporte largo Ñ.....	12
Imagen 25: modelo en AVEVA E3D del soporte largo Ñ.....	12
Imagen 28: organización del soporte corto W	12



Imagen 27: modelo en AVEVA E3D del soporte corto 12

Imagen 29: organización de equipos en el mismo Site y diferentes Zone 13

Imagen 30: formas básicas para modelación en E3D..... 13

Imagen 31: captura del deposito V-101 modelado en AVEVA Everythings 3D 14

Imagen 32: representación del intercambiador hervidor E-101..... 14

Imagen 33: toberas y formas básicas necesarias para la modelación del intercambiador E-101..... 14

Imagen 35: figuras necesarias para modelar el intercambiador E-102..... 15

Imagen 34: representación del intercambiador condensador E-102..... 15

Imagen 37: figuras necesarias para modelar el intercambiador E-102..... 15

Imagen 36: representación del modelo bombas P-101A y P-101B..... 15

Imagen 39: partes necesarias para el modelado completo de la torre de fraccionamiento. 16

Imagen 38: representación del modelo de la torre de fraccionamiento V-101..... 16

Imagen 40: representación del modelo con las estructuras y equipos ya modelados. 16

Imagen 41: ventana para valores de las líneas en AVEVA E3D. 17

Imagen 42: ventana para indicar comienzo y fin de los Branch..... 17

Imagen 43: ventana para la selección e inserción de componentes o accesorios en el modelo 18

Imagen 44: herramienta para modificar los componentes o accesorios del modelo 18

Imagen 45: configuración de la línea 1-C30-8” en AVEVA E3D 19

Imagen 46: modelo 3D de la línea 1-C30-8” 19

Imagen 48: modelo 3D de la línea 2-C30-10” 19

Imagen 47: configuración de la línea 2-C30-10” en AVEVA E3D 19

Imagen 49: configuración de la línea 3-C30-10” en AVEVA E3D 20

Imagen 50: modelo 3D de la línea 3-C30-10” 20

Imagen 52: modelo 3D de la línea 4-C30-10” 20

Imagen 51: configuración de la línea 4-C30-10” en AVEVA E3D 20

Imagen 54: modelo 3D de la línea 4-C30-10” 21

Imagen 53: configuración de la línea 5-C30-8” en AVEVA E3D 21

Imagen 56: modelo 3D de la línea 6-C30-10” 21

Imagen 55: configuración de la línea 6-C30-10” en AVEVA E3D 21

Imagen 57: configuración del Branch 7-C30-4” en AVEVA E3D 22

Imagen 58: modelo 3D del Branch 7-C30-4” 22

Imagen 59: configuración del Branch 7-C30-6” en AVEVA E3D 22

Imagen 60: modelo 3D del Branch 7-C30-4” 22

Imagen 61: representación de la línea 7-C30-X” con sus dos Brach conectados..... 23

Imagen 62: configuración de la línea 9-C30-4” en AVEVA E3D 23

Imagen 63: modelo 3D de la línea 9-C30-4” 23

Imagen 65: modelo 3D de la línea 10-A15-6” 24

Imagen 64: configuración de la línea 10-A15-6” en AVEVA E3D..... 24



Imagen 67: modelo 3D de la línea 11-A15-6”	24
Imagen 66: configuración de la línea 11-A15-6” en AVEVA E3D	24
Imagen 69: modelo 3D de la línea 12-A15-4”	25
Imagen 68: configuración de la línea 12-C30-4” en AVEVA E3D	25
Imagen 71: modelo 3D de la línea 13-A15-6”	25
Imagen 70: configuración de la línea 13-A15-6” en AVEVA E3D	25
Imagen 73: modelo 3D de la línea 14-A15-6”	26
Imagen 72: configuración de la línea 14-A15-6” en AVEVA E3D	26
Imagen 75: modelo 3D de la línea 13-A15-6” y su conexión con la línea 21-A15-10”	26
Imagen 74: configuración de la línea 13-A15-6” en AVEVA E3D	26
Imagen 77: modelo 3D de la línea 16-C30-2”	27
Imagen 76: configuración de la línea 16-C30-2” en AVEVA E3D	27
Imagen 79: modelo 3D de las líneas 17-A15-8”, 21-A15-10”, 26-C30-3”, 25-A15-3”, 24-A15-2”, 23-A15-2”, 22-A15-10”, 27-C30-10”, 18-A15-8”, 20-A15-10” y 19-A15-10”	27
Imagen 78: configuración de las líneas que atraviesan el rack; 17-A15-8”, 21-A15-10”, 26-C30-3”, 25-A15-3”, 24-A15-2”, 23-A15-2”, 22-A15-10”, 27-C30-10”, 18-A15-8”, 20-A15-10” y 19-A15-10”	27
Imagen 80: configuración del Briddle #1 en AVEVA E3D	28
Imagen 81: modelo 3D del Briddle #1	28
Imagen 82: configuración del Briddle #2 en AVEVA E3D	28
Imagen 83: modelo 3D del Briddle #2	28
Imagen 85: captura de las 4 líneas junto a los equipos donde conectan	29
Imagen 84: ventana para configuración de Trunion en AVEVA E3D Desing	29
Imagen 86: Rack principal con la modificación de los apoyos de la viga en azul.	30
Imagen 87: soportes creados a en la línea de succión de las bombas P-101 A y P-101 B	30
Imagen 88: códigos QR para acceder al modelo de la Depropanizadora en AUGIN	32
Imagen 89: captura de una visualización en Realidad Aumentada en Augin	32

7. Anejo “Datos de partida”

(21 páginas)

Imágenes:

Imagen 1._ : diagrama general de procesos	2
imagen 2: coordenadas de bancadas y cimientos	3
imagen 3: localización de los equipos y estructuras sobre sus cimientos	4
Imagen 4: vista cenital de la unidad	5
Imagen 5: bancada torre depropanizadora	6
Imagen 6: bancada deposito V-102	6
Imagen 7: bancada intercambiador E-101	7
Imagen 8: bancada intercambiador E-102	7



Imagen 9: bancada equipos rotativos	8
Imagen 10: plano de estructuras y sus cimientos	8
Imagen 11: plano de orientación de toberas y soportes de plataforma 1 de 2	9
Imagen 12 : definición geométrica del depropanizador y plataforma 2 de 2.	9
Imagen 13: plano plataforma baja. Plataforma 1	10
Imagen 14: plano plataforma alta. Plataforma 2	10
Imagen 15: plano deposito acumulador V-102	11
Imagen 16: plano intercambiador hervidor E-101	11
Imagen 17: plano intercambiador condensador E-102.....	12
Imagen 18: plano equipos rotativos P-101A y P-101B	12
Imagen 19: línea 1-C30-8"	13
Imagen 20: líneas 2-C30-10" y 3-C-30-12"	13
Imagen 21: línea 4-C30-10"	14
Imagen 22; línea 5-C30-8"	14
Imagen 23: línea 6-C30-9"	15
Imagen 24: línea 7-C30-6", parte 1ª de la línea. Parte de descarga bombas.....	15
imagen 25: línea 7-C30-4" 2ª parte línea, parte descarga torre.	16
Imagen 26: línea 9-C30-4"	16
Imagen 27: línea 10-A15-6"	17
Imagen 28: línea 11-A15-6"	17
Imagen 29: línea 12-C30-4"	18
Imagen 30: línea 13-A15-6"	18
Imagen 31: línea 14-A15-6"	19
Imagen 32: línea 15-A15-6"	19
Imagen 33: línea 16-C30-2"	20
Imagen 34: Briddle #1	20
Imagen 35: Briddle #2	21

8. Anejo "Datos físicos y geométricos"

(21 Paginas)

Imágenes:

Imagen 1: valores físicos de la tubería 2" NPS Schedule estándar.	2
Imagen 2: valores físicos de la tubería 3" NPS (Nominal Pipe Schedule) Schedule estándar.	2
Imagen 3: valores físicos y geométricos de la tubería 4" NPS Schedule estándar.....	3
Imagen 4: valores físicos y geométricos de la tubería 6" NPS Schedule estándar.....	3
Imagen 5: valores físicos y geométricos de la tubería 8" NPS Schedule estándar.....	4



Imagen 6: valores físicos y geométricos de la tubería 10" NPS Schedule estándar.....4

Imagen 7: valores físicos y geométricos de la tubería 12" NPS Schedule estándar.....5

Imagen 8: valores físicos de la tubería 14" NPS Schedule estándar.....5

Tabla 1: tabla resumen de los pesos de las tuberías llenas y vacías5

Imagen 9: Separación mínima entre la línea 27-C30-14" y la línea 26-C30-3"6

Imagen 10: Separación mínima entre la línea 26-C30-3" y la línea 25-A15-36

Imagen 11: Separación mínima entre la línea 25-A15-3" y la línea 24-A15-2"7

Imagen 12: Separación mínima entre la línea 24-A15-2" y la línea 23-A15-2.....7

Imagen 13: Separación mínima entre la línea 23-A15-2" y la línea 22-A15-10"7

Imagen 14: separación mínima entre dos tuberías de 10"8

Imagen 15: Separación mínima entre la línea 19-A15-10" y la línea 18-A15-8"8

Imagen 16: Separación mínima entre la línea 18-A15-8" y 17-A15-88

Imagen 17: Separación mínima entre la línea 17-A15-8" y 9-C30-4",9

Imagen 18: Separación mínima entre la línea 9-C30-4" y la línea 7-C30-6"9

Imagen 19: Separación mínima entre las líneas 10-A15-6" y 11-A15-69

Imagen 20: Separación mínima entre las líneas 15-A15-6", 5-C30-8" y 14-A15-6"10

Imagen 21: Separación mínima entre las líneas 14-A15-6" y 4-C30-10"10

Imagen 22: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 4" y Schedule STD.....11

Imagen 23: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 4", 300# y caras RF.....11

Imagen 24: valores una brida WeldNeck de 4", clase 300#, caras RF y Schedule estándar11

Imagen 25: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 4" y clase 300#.....12

Imagen 26: Tee con todas las entradas de 4" y Schedule estándar12

Imagen 27: reductor concéntrico de 6" a 4" ambos de Schedule estándar12

Imagen 28: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 6" y Schedule STD.....13

Imagen 29: valores geométricos de un codo de 45°, diámetro 6" y Schedule STD.....13

Imagen 30: Tee de 6" y Schedule estándar con todas las entradas iguales13

Imagen 31: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 6", 150# y caras RF.....14

Imagen 32: valores una brida WeldNeck de 6", clase 150#, caras RF y Schedule estándar14

Imagen 33: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 6" y clase 150#.....14

Imagen 34: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 6", 300# y caras RF.....15

Imagen 35: valores una brida WeldNeck de 6", clase 300#, caras RF y Schedule estándar15

Imagen 36: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 6" y clase 300#.....15

Imagen 37: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 8" y Schedule STD.....16

Imagen 38: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 8", 300# y caras RF.....16

Imagen 39: valores una brida WeldNeck de 8", clase 300#, caras RF y Schedule estándar16

Imagen 40: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 8" y clase 300#.....17

Imagen 41: valores geométricos de un codo de 90°, diámetro 10" y Schedule STD.....17

Imagen 42: valores geométricos y físicos de una válvula de globo de 10", 300# y caras RF.....17



Imagen 43: valores una brida WeldNeck de 10", clase 300#, caras RF y Schedule estándar 18

Imagen 44: valores físicos y geométricos de una junta para la brida de 10" y clase 300# 18

Imagen 45: Tee de 10" y Schedule estándar con todas las entradas iguales..... 18

Imagen 46: reductor concéntrico de 10" a 8" ambos de Schedule estándar 19

Imagen 47: propiedades especificación de tubería A15 19

Imagen 48: propiedades especificación de tubería C30 20

Imagen 49: datos geométricos y físicos HEB 220..... 20

Imagen 50: datos geométricos y físicos HEB 140..... 21

Imagen 51: datos geométricos y físicos HEB 160..... 21

Imagen 52: datos geométricos y físicos HEM-240 21

11. Bibliografía



11. Bibliografía:

- **Páginas de consulta:**
 - <https://www.youtube.com/channel/UC69PFEenzTmD9gWb8NdLtNQ> → 12/05/2020
 - <https://www.asme.org/> → 22/06/2020
 - <https://www.youtube.com/watch?v=mtOyZDBaWko> → 10/07/2020
 - <https://www.youtube.com/watch?v=UKzSNakDOk0> → 15/07/2020
 - <https://www.youtube.com/watch?v=wSOC6fdBy0o> → 05/09/2020
 - <https://pihasa.es/> → 10/10/2020
 - <https://pdmsmacro.wordpress.com/> → 25/11/2020
 - <https://www.youtube.com/watch?v=CHjCoLcHP7g> → 03/12/2020
 - <https://www.ilovepdf.com/es> → 20/12/2020
 - <https://www.itur.es/CE-NP8.pdf> → 08/01/2021
 - https://www.mitma.es/recursos_mfom/1903100.pdf → 20/01/2021
 - <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf> → 25/01/2021
 - <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf> → 10/02/2021
 - <https://www.youtube.com/user/karlossantiuste> → 01/03/2021
 - https://www.youtube.com/channel/UCxeR_qXUxDDSkRpy6wBxpNQ → 15/04/2021
 - <https://support.microsoft.com/es-es/excel> → 04/05/2021
 - <https://www.youtube.com/watch?v=T9HhBwVFqv4> → 15/06/2021
 - <https://www.youtube.com/watch?v=gd53cMzyfyA> → 22/06/2021
 - <https://www.youtube.com/watch?v=s1A-UjSC3-U> → 05/07/2021
 - <https://www.youtube.com/watch?v=QMAqcewNnSA> → 05/07/2021
- **Libros y documentos de consulta:**
 - <https://www.sstusa.com/pdfs/ModelingResultsTutorial1.pdf> → 20/07/2020
 - <https://www.sstusa.com/pdfs/ModelingResultsTutorial2.pdf> → 25/07/2020
 - Libro "Pipe drafting and design" de "Roy A. Parisher y Robert A. Rhea" → 15/08/2020
 - Apuntes "Resistencia de materiales" → 10/04/2021
 - Apuntes "Ampliación de resistencias" → 20/04/2021
 - Apuntes "Cálculo de estructuras" → 05/05/2021
- **Aplicaciones utilizadas:**
 - AVEVA Everything 3D 2.1
 - CaePipe Evaluation-10.30
 - PipeDataPro 14.
 - Augin Pro-BETA
 - Herramienta Recortes de Windows
 - Autodesk AutoCAD 2017
 - Autodesk AutoCAD Plant 3D 2019
 - Autodesk Inventor Profesional 2020
 - Autodesk Navisworks Simulate 2020
 - Word
 - Excel
 - Adobe Acrobat Reader RD