

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL**

**GUILLERMO MIRA OSUNA**

Salamanca, 2015



---



---

## ÍNDICE GENERAL

---



---

### MEMORIA

<b>M.1 OBJETIVO .....</b>	<b>M-1</b>
<b>M.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>M-1</b>
<b>M.3 VIABILIDAD TECNOLÓGICA .....</b>	<b>M-1</b>
M.3.1 DEFINICIÓN DE CENTRAL TÉRMICA.....	M-1
M.3.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS.....	M-2
M.3.3 PROCESO DE GENERACIÓN .....	M-3
M.3.4 TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN .....	M-3
<b>M.4 VIABILIDAD ECONÓMICA.....</b>	<b>M-4</b>
M.4.1 ANÁLISIS DEL MERCADO ELÉCTRICO .....	M-4
M.4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL.....	M-4
M.4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA .....	M-4
M.4.2 LÍMITE DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	M-5
<b>M.5 LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL .....</b>	<b>M-6</b>
<b>M.6 INGENIERÍA DE PROCESO.....</b>	<b>M-7</b>
M.6.1 MATERIA PRIMA.....	M-7
M.6.2 REACCIONES DE COMBUSTIÓN .....	M-7
M.6.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE POTENCIA RANKINE .....	M-8
<b>M.7 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA DE VAPOR.....</b>	<b>M-10</b>
M.7.1 TRANSMISIÓN DE CALOR.....	M-10
M.7.2 DIMENSIONES.....	M-12
M.7.3 RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS DE EFICIENCIA .....	M-12
M.7.4 LAZO DE CONTROL .....	M-13
<b>M.8 ORGANIZACIÓN DE LA CENTRAL .....</b>	<b>M-13</b>
M.8.1 ZONAS.....	M-14
M.8.2 EMPLEADOS.....	M-14

<b>M.9 BALANCE ECONÓMICO .....</b>	<b>M-15</b>
M.9.1 COSTE DE PRODUCCIÓN .....	M-15
M.9.2 CAPITAL INVERTIDO.....	M-15
M.9.1 RENTABILIDAD Y PERIODO DE RECUPERACIÓN .....	M-15
<b>M.10 PRESUPUESTO .....</b>	<b>M-16</b>
<b>M.11 ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL .....</b>	<b>M-16</b>
<b>M.12 CONCLUSIONES .....</b>	<b>M-17</b>

## **ANEXO 1: SELECCIÓN DE PROCESO**

<b>1.1 CICLO CONVENCIONAL .....</b>	<b>1-1</b>
1.1.1 COMBUSTIÓN DE CARBÓN PULVERIZADO .....	1-4
1.1.2 COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDIZADO .....	1-7
1.1.3 COMBUSTIÓN DE LODOS RESIDUALES.....	1-8
1.1.4 COMBUSTIÓN DE FUEL-OIL.....	1-9
1.1.5 CARACTERÍSTICAS DEL CICLO CONVENCIONAL.....	1-11
<b>1.2 CICLO COMBINADO.....</b>	<b>1-13</b>
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CICLO COMBINADO .....	1-16
<b>1.3 CENTRAL TERMOÉLECTRICA NUCLEAR.....</b>	<b>1-17</b>
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUCLEAR.....	1-19
<b>1.4 COMPARACIÓN DE PROCESOS Y SELECCIÓN.....</b>	<b>1-20</b>
1.4.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIA PRIMA .....	1-20
1.4.2 PROCESO .....	1-21
<b>1.5 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>1-23</b>



**ANEXO 2: MATERIA PRIMA**

<b>2.1</b>	<b>COMBUSTIBLE: CARBÓN .....</b>	<b>2-1</b>
2.1.1	PROPIEDADES DEL CARBÓN DE DISEÑO .....	2-2
<b>2.2</b>	<b>COMBURENTE: AIRE .....</b>	<b>2-3</b>
<b>2.3</b>	<b>AGUA.....</b>	<b>2-4</b>
<b>2.4</b>	<b>GAS DE COMBUSTIÓN .....</b>	<b>2-4</b>
<b>2.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>2-5</b>

**ANEXO 3: ESTUDIO DE MERCADO**

<b>3.1</b>	<b>SITUACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL.....</b>	<b>3-1</b>
<b>3.2</b>	<b>INTERCAMBIO ELÉCTRICO INTERNACIONAL .....</b>	<b>3-3</b>
<b>3.3</b>	<b>ESTUDIO DE LAS RESERVAS Y DEL PRECIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....</b>	<b>3-4</b>
3.3.1	CARBÓN.....	3-4
3.3.2	FUEL-OIL.....	3-5
3.3.3	GAS NATURAL.....	3-6
<b>3.4</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA FUTURA .....</b>	<b>3-9</b>
3.4.1	PROYECCIÓN DE LA TENDENCIA FUTURA .....	3-10
3.4.2	MÉTODO ECONOMÉTRICO.....	3-11
<b>3.5</b>	<b>RESULTADO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3-14</b>
<b>3.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>3-15</b>

**ANEXO 4: TAMAÑO DE PROYECTO**

<b>4.1</b>	<b>INDICADORES ECONÓMICOS.....</b>	<b>4-1</b>
4.1.1	PRECIOS DE BIENES DE CONSUMO .....	4-1
4.1.2	PRECIOS INDUSTRIALES.....	4-2
<b>4.2</b>	<b>INGRESOS POR VENTAS .....</b>	<b>4-3</b>
<b>4.3</b>	<b>COSTES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>4-4</b>
4.3.1	COSTE DE MATERIAS PRIMAS.....	4-4
4.3.2	COSTE DE SERVICIOS GENERALES .....	4-7

4.3.3	COSTE DE MANO DE OBRA DIRECTA .....	4-7
4.3.4	CAPITAL INMOVILIZADO .....	4-9
4.3.5	RESULTADO DE COSTES TOTALES .....	4-12
<b>4.4</b>	<b>PUNTO DE NIVELACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.....</b>	<b>4-13</b>
<b>4.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>4-15</b>

## **ANEXO 5: LOCALIZACIÓN**

<b>5.1</b>	<b>SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>5-1</b>
<b>5.2</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD .....</b>	<b>5-2</b>
<b>5.1</b>	<b>UBICACIÓN DE LA PARCELA .....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.1</b>	<b>CLIMA .....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.2</b>	<b>TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE.....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>5-4</b>
<b>5.4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>5-5</b>

## **ANEXO 6: INGENIERÍA DE PROCESO**

<b>6.1</b>	<b>REACCIONES DE COMBUSTIÓN .....</b>	<b>6-1</b>
6.1.1	EXCESO DE COMBURENTE.....	6-3
6.1.2	POTENCIA CALORÍFICA DEL COMBUSTIBLE.....	6-4
6.1.3	CARACTERÍSTICAS DEL COMBURENTE.....	6-5
<b>6.2</b>	<b>CICLO RANKINE REGENERATIVO CON SOBRECALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO .....</b>	<b>6-5</b>
6.2.1	VAPOR SOBRECALENTADO .....	6-9
6.2.2	VAPOR RECALENTADO.....	6-9
6.2.3	REGENERACIÓN: EXTRACCIÓN DE VAPOR DE TURBINA .....	6-9
<b>6.3</b>	<b>CALDERA DE VAPOR: CV-01 .....</b>	<b>6-10</b>
6.3.1	HOGAR.....	6-10
6.3.2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO: S-01 .....	6-11
6.3.3	PANTALLA DE CHOQUE .....	6-12

6.3.4	BANCO DE CONVECCIÓN .....	6-12
6.3.5	MOLINOS DE PULVERIZACIÓN: MP-01 .....	6-13
<b>6.4</b>	<b>TURBINA DE VAPOR: T AP-01 y T BP-01 .....</b>	<b>6-13</b>
<b>6.5</b>	<b>ALTERNADOR: A-01 .....</b>	<b>6-15</b>
<b>6.6</b>	<b>CONDENSADOR: CD-01 .....</b>	<b>6-16</b>
<b>6.7</b>	<b>BOMBAS: B-01 y B-02.....</b>	<b>6-17</b>
<b>6.8</b>	<b>DESGASIFICADOR: DG-01 .....</b>	<b>6-17</b>
<b>6.9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>6-18</b>

## **ANEXO 7: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA**

<b>7.1</b>	<b>NOMENCLATURA Y CONSIDERACIONES .....</b>	<b>7-1</b>
<b>7.2</b>	<b>EXPRESIONES DE CÁLCULO .....</b>	<b>7-3</b>
<b>7.3</b>	<b>BALANCES AL CICLO DE POTENCIA .....</b>	<b>7-4</b>
7.3.1	BALANCES A LA TURBINA DE VAPOR .....	7-5
7.3.1.1	ZONA DE ALTA PRESIÓN .....	7-6
7.3.1.2	ZONA DE BAJA PRESIÓN .....	7-8
7.3.2	BALANCES AL CONDENSADOR .....	7-10
7.3.2.1	PRESIÓN DE OPERACIÓN.....	7-11
7.3.3	BALANCES A LAS BOMBAS .....	7-12
7.3.3.1	BOMBA-01 .....	7-13
7.3.3.2	BOMBA-02 .....	7-13
7.3.4	BALANCES AL DESGASIFICADOR .....	7-14
<b>7.4</b>	<b>REQUERIMIENTOS DEL CICLO.....</b>	<b>7-16</b>
7.4.1	RENDIMIENTO DEL CICLO RANKINE .....	7-17
<b>7.5</b>	<b>BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR .....</b>	<b>7-18</b>
7.5.1	BALANCE DE ENERGÍA .....	7-18
7.5.1	BALANCE DE MATERIA .....	7-20
7.5.2	RESUMEN DE LOS BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR....	7-24
<b>7.6</b>	<b>RENDIMIENTO DE LA CENTRAL.....</b>	<b>7-24</b>
<b>7.7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>7-25</b>
<b>7.8</b>	<b>SCRIPT DESARROLLADO PARA RESOLVER LOS BALANCES ...</b>	<b>7-26</b>

**ANEXO 8: DISEÑO DE EQUIPO: CALDERA DE VAPOR**

<b>8.1</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y DATOS PREVIOS .....</b>	<b>8-1</b>
<b>8.2</b>	<b>TRANSMISIÓN DE CALOR.....</b>	<b>8-4</b>
8.2.1	PRESIÓN DE OPERACIÓN .....	8-4
8.2.2	RADIACIÓN EN EL HOGAR.....	8-5
8.2.3	TEMPERATURA DEL HOGAR.....	8-8
8.2.3.1	TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LLAMA .....	8-11
8.2.4	SOBRECALENTADOR .....	8-12
8.2.4.1	ZONA DE CHOQUE .....	8-12
8.2.4.2	CONVECCIÓN EN EL SOBRECALENTADOR .....	8-15
8.2.4.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL SOBRECALENTADOR .....	8-16
8.2.5	RECALENTADOR .....	8-17
8.2.5.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL RECALENTADOR....	8-18
8.2.6	ECONOMIZADOR .....	8-19
8.2.6.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL ECONOMIZADOR....	8-20
8.2.1	RESUMEN DE FLUJO DE CALOR, DISTRIBUCIÓN DE TEMERATURA Y SUPERFICIES DE INTERAMBIO .....	8-20
<b>8.3</b>	<b>TAMAÑO DE LA CALDERA DE VAPOR .....</b>	<b>8-21</b>
8.3.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS.....	8-21
8.3.1.1	ACERO REQUERIDO .....	8-21
8.3.1.2	DIMENSIONES DE TUBOS ESTANDARIZADAS.....	8-21
8.3.2	DIMENSIONES DEL HOGAR Y DE LOS HAZES DE TUBOS .....	8-22
<b>8.4</b>	<b>RENDIMIENTO FINAL DE LA CALDERA.....</b>	<b>8-24</b>
8.4.1	PÉRDIDAS DE EFICIENCIA.....	8-24
<b>8.5</b>	<b>CONTROL DE TEMPERATURA DEL GAS DE COMBUSTIÓN .....</b>	<b>8-25</b>
<b>8.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>8-29</b>
<b>8.7</b>	<b>SCRIPT DESARROLADO PARA LA RESOLUCIÓN DEL DISEÑO..</b>	<b>8-30</b>

**ANEXO 9: DISTRIBUCIÓN EN CENTRAL**

<b>9.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.2</b>	<b>ACCESOS A LA CENTRAL .....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.3</b>	<b>DISTRIBUCIÓN POR ZONAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>9-2</b>
9.3.1	CRITERIOS GENERALES DE DISTRIBUCIÓN .....	9-2
9.3.1.1	RESTRICCIONES DE SEGURIDAD.....	9-2
9.3.1.1	AISLAMIENTO DE ZONAS DE PELIGRO .....	9-3
9.3.1.2	DISTANCIA DE OPERACIÓN.....	9-3
9.3.1.3	CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	9-3
9.3.1.4	CRITERIO ECONÓMICO DE DISTRIBUCIÓN .....	9-3
9.3.2	ZONAS DE LA CENTRAL.....	9-4
<b>9.4</b>	<b>NÚMERO DE EMPLEADOS .....</b>	<b>9-4</b>
9.4.1	HORAS DE TRABAJO.....	9-4
9.4.2	TURNOS.....	9-4
9.4.2.1	HORARIO.....	9-5
9.4.3	VACACIONES .....	9-5
9.4.4	TIPO DE EMPLEADOS .....	9-5
<b>9.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>9-7</b>

**ANEXO 10: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

<b>10.1</b>	<b>COSTES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>10-1</b>
10.1.1	COSTES DE FABRICACIÓN.....	10-1
10.1.1.1	MATERIA PRIMA .....	10-1
10.1.1.2	PATENTES .....	10-1
10.1.1.3	MANO DE OBRA DIRECTA.....	10-2
10.1.1.4	LABORATORIO .....	10-3
10.1.1.5	TÉCNICOS Y DIRECTIVOS.....	10-3
10.1.1.1	MANO DE OBRA INDIRECTA .....	10-4
10.1.1.2	SERVICIOS GENERALES .....	10-4
10.1.1.3	CONSERVACIÓN .....	10-4
10.1.1.4	SUMINISTROS .....	10-5
10.1.1.5	ENVASADO .....	10-5
10.1.1.6	EXPEDICIÓN .....	10-5
10.1.1.7	ALQUILERES.....	10-5
10.1.1.8	IMPUESTOS .....	10-5

10.1.1.9	SEGURO DE LA CENTRAL.....	10-6
10.1.2	COSTES DE GESTIÓN.....	10-6
10.1.2.1	GERENCIA.....	10-6
10.1.2.2	GASTOS COMERCIALES.....	10-6
10.1.2.3	GASTOS FINANCIEROS.....	10-6
<b>10.2</b>	<b>RESUMEN DE LOS COSTES DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>10-7</b>
<b>10.3</b>	<b>CAPITAL INVERTIDO.....</b>	<b>10-7</b>
10.3.1	CAPITAL INMOVILIZADO.....	10-8
10.3.1.1	CAPITAL FÍSICO.....	10-8
10.3.1.2	MAQUINARIA Y APARATOS.....	10-8
10.3.1.3	INSTRUMENTACIÓN.....	10-9
10.3.1.4	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	10-10
10.3.1.5	AISLAMIENTO TÉRMICO.....	10-10
10.3.1.6	TERRENO Y EDIFICACIÓN.....	10-10
10.3.1.7	INSTALACIONES AUXILIARES.....	10-11
10.3.1.8	CAPITAL DIRECTO.....	10-11
10.3.1.9	CONTRATA DE OBRAS.....	10-11
10.3.1.10	GASTOS IMPREVISTOS.....	10-11
10.3.2	CAPITAL CIRCULANTE.....	10-12
10.3.2.1	MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES.....	10-12
10.3.2.2	MATERIAS EN FABRICACIÓN.....	10-12
10.3.2.3	RESERVA DE PRODUCTO FABRICADO EN ALMACÉN...	10-13
10.3.2.4	VENTAS PENDIENTES DE COBRO A UN MES VISTA.....	10-13
10.3.2.5	DISPONIBLE EN CAJAS Y BANCOS.....	10-13
<b>10.4</b>	<b>RENTABILIDAD DEL PROCESO.....</b>	<b>10-13</b>
10.4.1	BENEFICIO BRUTO ANUAL.....	10-13
10.4.2	BENEFICIO BRUTO PORCENTUAL ANUAL.....	10-14
10.4.3	BENEFICIO NETO ANUAL.....	10-14
10.4.4	BENEFICIO NETO PORCENTUAL ANUAL.....	10-15
<b>10.5</b>	<b>PERÍODO DE RECUPERACIÓN.....</b>	<b>10-15</b>
<b>10.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>10-16</b>

**PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>PC.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>PC-1</b>
PC.1.1 OBJETIVO DEL PLIEGO.....	PC-1
PC.1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	PC-1
PC.1.3 EMPLAZAMIENTO .....	PC-2
PC.1.4 NORMAS, REGLAMENTO Y ORDENANZAS PARA MATERIALES Y OBRA .....	PC-2
PC.1.4.1 NORMAS DE EDIFICACIÓN.....	PC-3
PC.1.4.2 NORMAS UNE .....	PC-4
PC.1.4.3 NORMAS ISO.....	PC-4
<b>PC.2 CONDICIONES GENERALES .....</b>	<b>PC-5</b>
PC.2.1 CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS .....	PC-5
PC.2.1.1 DISPOSICIONES GENERALES .....	PC-5
PC.2.1.2 TÉRMINOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES .....	PC-5
PC.2.1.3 INTERPRETACIÓN TÉCNICA .....	PC-6
PC.2.1.4 OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA.....	PC-6
PC.2.1.5 FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE LA OBRA .....	PC-8
PC.2.1.6 LIBRO DE ÓRDENES .....	PC-9
PC.2.1.7 REPLANTEO.....	PC-10
PC.2.1.8 COMIENZO, RITMO, PLAZO Y CONDICIONES GENERALES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	PC-10
PC.2.1.9 CONDICIONES GENERALES DE SUMINISTRO DE EQUIPOS .....	PC-11
PC.2.1.10 CONTRADICCIONES ENTRE PLIEGOS Y NORMAS .....	PC-12
PC.2.1.11 SIGNIFICADO DE LOS ENSAYOS.....	PC-13
PC.2.1.12 PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	PC-13
PC.2.1.13 CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS .....	PC-13
PC.2.1.14 PARTIDA DE ALZADA .....	PC-14
PC.2.1.15 RECEPCIÓN PROVISIONAL DE OBRAS.....	PC-14
PC.2.1.16 PERÍODO DE GARANTÍAS .....	PC-15
PC.2.1.17 RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	PC-16
PC.2.1.18 DOCUMENTO FINAL DE LA OBRA.....	PC-17
PC.2.2 CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS .....	PC-17
PC.2.2.1 FIANZA.....	PC-18
PC.2.2.2 COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS .....	PC-18
PC.2.2.3 PRECIOS CONTRADICTORIOS .....	PC-20
PC.2.2.4 MEJORAS Y MODIFICACIONES.....	PC-20
PC.2.2.5 REVISIÓN DE PRECIOS .....	PC-20
PC.2.2.6 VALORACIÓN, MEDICIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.....	PC-21
PC.2.2.7 PENALIZACIONES.....	PC-22

PC.2.2.8	SEGUROS Y CONSERVACIÓN DE LA OBRA .....	PC-22
PC.2.2.9	CONDICIONES DE PAGO .....	PC-23
PC.2.3	CONDICIONES GENERALES LEGALES .....	PC-24
PC.2.3.1	DISPOSICIONES LEGALES .....	PC-24
PC.2.3.2	CONTRATISTA .....	PC-31
PC.2.3.3	CONTRATO .....	PC-32
PC.2.3.4	ADJUDICACIÓN .....	PC-32
PC.2.3.5	ARBITRAJE Y JURISDICCIÓN COMPETENTE .....	PC-33
PC.2.3.6	RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTA .....	PC-34
PC.2.3.7	SUBCONTRATAS .....	PC-35
PC.2.3.8	IMPUESTOS .....	PC-36
PC.2.3.9	ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS ....	PC-36
PC.2.3.10	SUSPENSIÓN DE CONTRATO .....	PC-38
PC.2.3.11	RESCISIÓN DEL CONTRATO .....	PC-38
<b>PC.3</b>	<b>CONDICIONES PARTICULARES .....</b>	<b>PC-42</b>
PC.3.1	DISPOSICIONES DE CARÁCTER PARTICULAR .....	PC-42
PC.3.2	DISPOSICIONES DE MATERIALES, EQUIPOS Y MAQUINARIA.....	PC-42
PC.3.2.1	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	PC-43
PC.3.2.2	MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	PC-43
PC.3.2.3	EQUIPOS .....	PC-47
PC.3.3	CONDICIONES DE EJECUCIÓN.....	PC-48
<b>PC.4</b>	<b>CONTRATO .....</b>	<b>PC-50</b>
<b>PC.5</b>	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPO PRINCIPAL .....</b>	<b>PC-59</b>
<b>PC.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>PC-64</b>
 <b>PRESUPUESTO</b>		
<b>P.1</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....</b>	<b>P-1</b>
<b>P.2</b>	<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA .....</b>	<b>P-1</b>
P.2.1	GASTOS GENERALES .....	P-2
P.2.2	BENEFICIO INDUSTRIAL .....	P-2
P.2.3	IMPUESTO AL VALOR AGREGADO .....	P-2
<b>P.3</b>	<b>PRESUPUESTO TOTAL DE OBRAS .....</b>	<b>P-2</b>



---

**ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL**

<b>E.1 FICHAS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>E-1</b>
E.1.1 CARBÓN.....	E-1
E.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO.....	E-1
E.1.2 MONÓXIDO DE CARBONO.....	E-2
E.1.3 DIÓXIDO DE AZUFRE.....	E-2
<b>E.2 LÍMITES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA .....</b>	<b>E-3</b>
<b>E.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL LUGAR DE TRABAJO.....</b>	<b>E-3</b>
E.3.1 RIESGOS DE MATERIA COMBUSTIBLE .....	E-3
E.3.1.1 PREVENCIÓN DE RIESGO ELÉCTRICO .....	E-4
E.3.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	E-4
<b>E.4 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>E-5</b>

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

MEMORIA



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>MEMORIA</b> .....	<b>M-1</b>
<b>M.1 OBJETIVO</b> .....	<b>M-1</b>
<b>M.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>M-1</b>
<b>M.3 VIABILIDAD TECNOLÓGICA</b> .....	<b>M-1</b>
M.3.1 DEFINICIÓN DE CENTRAL TÉRMICA.....	M-1
M.3.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS.....	M-2
M.3.3 PROCESO DE GENERACIÓN .....	M-3
M.3.4 TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN .....	M-3
<b>M.4 VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....	<b>M-4</b>
M.4.1 ANÁLISIS DEL MERCADO ELÉCTRICO .....	M-4
M.4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL.....	M-4
M.4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA .....	M-4
M.4.2 LÍMITE DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	M-5
<b>M.5 LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL</b> .....	<b>M-6</b>
<b>M.6 INGENIERÍA DE PROCESO</b> .....	<b>M-7</b>
M.6.1 MATERIA PRIMA.....	M-7
M.6.2 REACCIONES DE COMBUSTIÓN .....	M-7
M.6.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE POTENCIA RANKINE .....	M-8
<b>M.7 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA DE VAPOR</b> .....	<b>M-10</b>
M.7.1 TRANSMISIÓN DE CALOR.....	M-11
M.7.2 DIMENSIONES.....	M-12
M.7.3 RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS DE EFICIENCIA .....	M-12
M.7.4 LAZO DE CONTROL .....	M-13
<b>M.8 ORGANIZACIÓN DE LA CENTRAL</b> .....	<b>M-13</b>
M.8.1 ZONAS.....	M-14
M.8.2 EMPLEADOS.....	M-14

<b>M.9 BALANCE ECONÓMICO .....</b>	<b>M-15</b>
M.9.1 COSTE DE PRODUCCIÓN .....	M-15
M.9.2 CAPITAL INVERTIDO.....	M-15
M.9.1 RENTABILIDAD Y PERIODO DE RECUPERACIÓN .....	M-15
<b>M.10 PRESUPUESTO .....</b>	<b>M-16</b>
<b>M.11 ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL .....</b>	<b>M-16</b>
<b>M.12 CONCLUSIONES .....</b>	<b>M-17</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura M-I Ingresos y costes anuales de la central frente a capacidad.....	M-5
Figura M-II Imagen por satélite de la parcela .....	M-6
Figura M-III Diagrama termodinámico T-s del ciclo de potencia que opera en la central .....	M-8
Figura M-IV Diagrama simplificado del funcionamiento de la central .....	M-10
Figura M-V Sistema de control de la temperatura de salida del gas de combustión .....	M-13

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla M-I Dimensiones de la caldera de vapor .....	M-12
--	------

---

---

# MEMORIA

---

---

---

## M.1 OBJETIVO

---

El objetivo de este proyecto es el diseño de una central térmica con cinco grupos de 400 MW de potencia instalada para la producción de 16,000 GWh de electricidad al año.

La central operará en ciclo convencional utilizando carbón como combustible y estará localizada en la comarca de Betanzos, A Coruña.

La ingeniería de detalle se limita al diseño de la caldera de vapor.

---

## M.2 JUSTIFICACIÓN

---

La producción y el suministro eficiente de energía eléctrica son fundamentales para el desarrollo de la sociedad. La central térmica diseñada tiene como finalidad cubrir parte de la demanda de electricidad prevista para los próximos 25 años obteniendo beneficio económico.

---

## M.3 VIABILIDAD TECNOLÓGICA

---

---

### M.3.1 DEFINICIÓN DE CENTRAL TÉRMICA

---

La energía eléctrica no es aprovechada directamente de la naturaleza, sino que se emplean distintos tipos de procesos industriales para generarla.

Una central térmica es un conjunto de equipos capaz de procesar un gran volumen de materia prima y transformar su poder calorífico en electricidad mediante un ciclo de potencia.

### **M.3.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS**

---

- Ciclo convencional: Se utiliza un combustible fósil como materia prima y agua como fluido portador de la energía.

El proceso comienza bombeando agua líquida a la caldera donde se calienta y cambia de fase a estado de vapor debido a la energía liberada en la reacción química que transcurre en la caldera.

El vapor a alta presión y temperatura se lleva a una turbina. La energía contenida en el vapor hace que, al chocar éste contra los álabes de la turbina, los desplace y genere un movimiento rotatorio de los mismos. Un alternador es capaz de reconvertir la energía mecánica de este movimiento en energía eléctrica.

Una vez se ha aprovechado toda la energía contenida en el vapor, se condensa para reanudar el ciclo.

- Ciclo combinado: Consiste en acoplar dos ciclos de potencia.

En el primer ciclo, el fluido portador es aire atmosférico. El aire se comprime y se calienta mediante la combustión de materia prima, habitualmente gas natural. Una primera turbina de gas aprovecha la energía del aire comprimido utilizando parte de esta energía en comprimir el aire al comienzo del ciclo.

El segundo ciclo utiliza un recuperador de calor para aprovechar el calor sensible de los productos procedentes de la combustión del gas y calentar un circuito de agua-vapor como el explicado anteriormente.

- Central termoeléctrica nuclear: El fluido transmisor de calor es el agua. Opera mediante un ciclo convencional.

La característica distintiva frente al resto de procesos es que la fuente de energía calorífica es una reacción nuclear controlada.

### **M.3.3 PROCESO DE GENERACIÓN**

---

En el Anexo 1: Selección de Proceso, se estudian todos los factores determinantes para elegir el proceso de generación de electricidad.

La central térmica se diseña para trabajar en ciclo convencional utilizando carbón como combustible debido a las siguientes razones:

- Precio y disponibilidad de la materia prima.
- Tecnología conocida y existencia de diversas técnicas que se pueden aplicar al proceso para optimizar su eficiencia.
- Posibilidad de minimizar las emisiones contaminantes para reducir el impacto medioambiental todo lo posible.

### **M.3.4 TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN**

---

Se emplea la tecnología de combustión de carbón pulverizado (PCC)<sup>1</sup> debido a tres razones principales:

- Con un control adecuado de las condiciones de la caldera de vapor, se obtiene un rendimiento de las reacciones de combustión muy alto.
- Dispone de un alto grado de versatilidad, permitiendo la quema de productos desechables de bajo valor como, por ejemplo, lodos residuales.
- Facilita la disposición de los inertes del combustible.

---

<sup>1</sup> Pulverised coal combustion



---

## **M.4 VIABILIDAD ECONÓMICA**

---

### **M.4.1 ANÁLISIS DEL MERCADO ELÉCTRICO**

---

En el Anexo 3: Estudio de Mercado, se analiza el funcionamiento del mercado eléctrico en España, su situación actual y perspectivas de futuro.

#### **M.4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL**

---

La energía eléctrica no es almacenable en grandes cantidades. Este hecho define el mercado eléctrico, que se caracteriza por que las centrales térmicas han de generar en cada instante tanta electricidad como se esté consumiendo.

En las horas en las que se tiene un déficit de generación, España importa energía de Francia; si la electricidad generada no se consume completamente, entonces exporta a Portugal y a Marruecos.

Las centrales térmicas se pueden diseñar para trabajar en base, esto es, generar electricidad durante todo el año y de manera continua, o trabajar con arranques y paradas para funcionar en los momentos del año cuando la demanda es mayor.

Habitualmente las centrales de mayor capacidad de generación funcionan en base, y las más pequeñas trabajan en régimen discontinuo.

#### **M.4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA**

---

El carbón representaba a principios de 2014 un 11 % de la potencia instalada en la península. Asumiendo unas condiciones similares para el 2040, se estudia la demanda futura mediante la proyección de la tendencia histórica y el análisis por método econométrico.

El resultado obtenido determina que la cuota energética total a cubrir por centrales térmicas que funcionen con carbón se situará en torno a los de 22,500 GWh al año.

## M.4.2 LÍMITE DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En el Anexo 4: Tamaño de Proyecto, se realiza un cálculo estimativo del coste neto del proyecto y se determina el punto a partir del cual se obtiene beneficio económico.

La Figura M-I muestra el punto de nivelación de la central, situado en una capacidad de generación de 13,045 GWh/año.

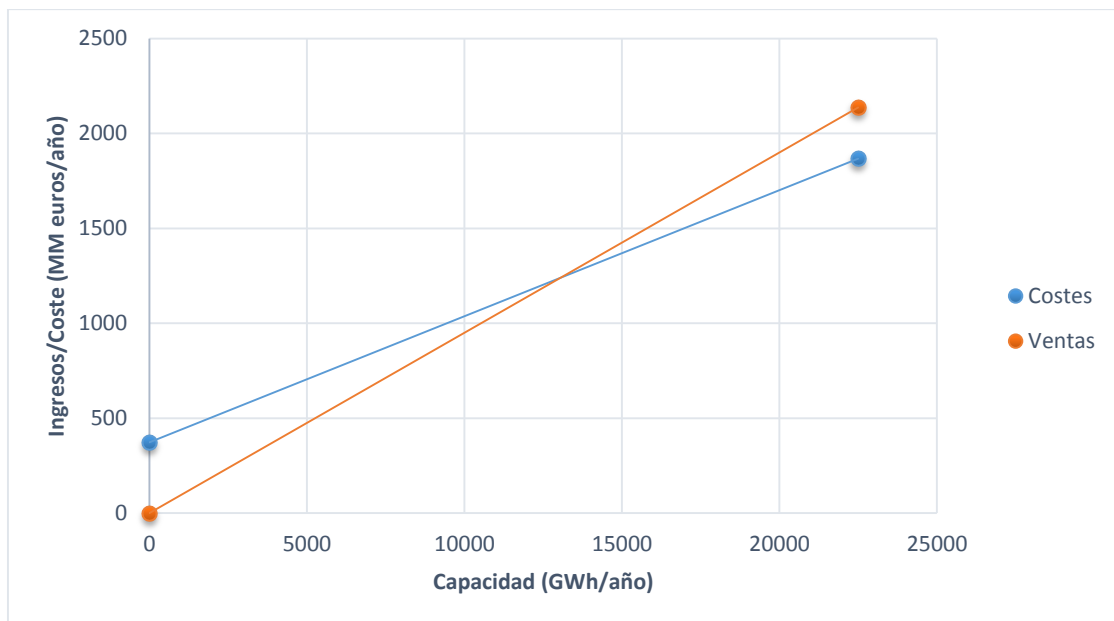


Figura M-I Ingresos y costes anuales de la central frente a capacidad

A la luz de este resultado, se determina que la central térmica generará 16,000 GWh al año trabajando en régimen continuo, para lo que será necesario diseñar 2000 MW de potencia instalada. Con esta potencia la central obtendría unos ingresos de 190,000 € por cada hora de funcionamiento.

---

## M.5 LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL

---

En el Anexo 5: Localización, se determina la ubicación más adecuada desde el punto de vista del suministro de materia prima para situar la central.

Para obtener la mitad de la cantidad neta de combustible requerido para operar la central (hulla) se eligen como fuente de materia prima los yacimientos de las cuencas mineras de Asturias ubicados en el Valle del Caudal y Valle del Nalón. La otra mitad del combustible consiste en carbón importado con categoría de antracita.

Las propiedades de la antracita, la hulla, y el mix de combustible de diseño se explican en el Anexo 2: Materia Prima.

La parcela (Figura M-II), está situada en la comarca de Betanzos, A Coruña, con coordenadas  $43^{\circ} 09' 17.1''$  N  $8^{\circ} 00' 32.9''$  W. Su ubicación exacta se muestra en el Plano 1 y en el Plano 2.



*Figura M-II Imagen por satélite de la parcela*

---

## **M.6 INGENIERÍA DE PROCESO**

---

La ingeniería de proceso se diseña de manera idéntica e independiente para cada grupo de 400 MW –se explica en detalle en el Anexo 6: Ingeniería de Proceso.

La central consume 182,330 kg/h de carbón por grupo para funcionar y tiene un rendimiento neto del 31%.

### **M.6.1 MATERIA PRIMA**

---

El combustible está formado por antracita importada y hulla nacional en proporciones iguales. La humedad del carbón se sitúa en torno al 10% en peso y su contenido en azufre se asegura siempre por debajo del 1% en peso. Se transporta mediante camiones hasta un parque de almacenamiento y desde este punto se abastece a todos los grupos.

El comburente utilizado es aire atmosférico. Para conseguir la combustión completa se trabaja con un exceso del 20% en moles, lo que conlleva que por grupo se utilicen 1,718,914 kg/h de aire.

Durante el transcurso del proceso la composición del comburente y especialmente del carbón varían significativamente. Esto afecta al desarrollo de las reacciones, al intercambio de calor, o a la composición del gas de combustión. El control y monitorización del funcionamiento de la caldera cobra especial importancia frente a otras partes de la central con el objetivo de trabajar en las condiciones más próximas a los parámetros de diseño.

### **M.6.2 REACCIONES DE COMBUSTIÓN**

---

La caldera de vapor alberga las reacciones químicas y aprovecha la energía liberada para alimentar el ciclo de potencia.

Acorde con la composición del carbón de diseño y con las estimaciones realizadas para el proceso, se consideran las reacciones mostradas a continuación:



### **M.6.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE POTENCIA RANKINE**

El circuito termodinámico cerrado con el que trabaja la central es un ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento. El ciclo completo se resuelve en el Anexo 7: Balances de Materia y Energía –se representa en la Figura M-III.

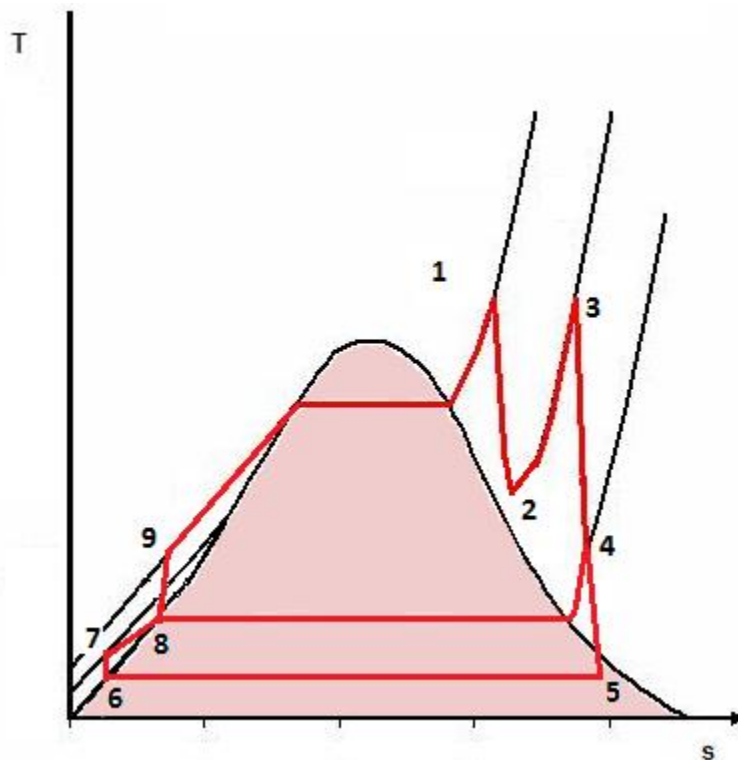


Figura M-III Diagrama termodinámico T-s del ciclo de potencia que opera en la central

El ciclo de potencia utiliza como fluido de trabajo agua-vapor con un caudal de 1,247,000 kg/h y requiere un aporte de calor neto de 3,720,000,000 kJ/h trabajando con un rendimiento de ciclo del 38%. El carbón de diseño tiene un poder calorífico superior de 25,596 kJ/kg.

Para alimentar el ciclo, se consumen 182,330 kg/h de combustible por grupo, lo que genera 1,861,977 kg/h de productos de combustión en forma de gas.

La cesión de calor principal ocurre en la isóbara de 170 bar, que es la presión de trabajo del agua que recorre la caldera y que absorbe energía hasta alcanzar el estado de vapor sobrecalentado a 550 °C. Para aprovechar la energía contenida en el vapor se envía a la zona de alta presión de la turbina y se generan 108 MW de potencia.

El vapor sale del primer paso por la turbina a 366 °C y 45 bar y se recircula al recalentador ubicado en la caldera.

Finalizada la absorción de calor, la corriente se lleva de vuelta a la turbina. El paso del vapor recalentado por la zona de baja presión genera 304 MW, incluyendo el sangrado de vapor, que se desvía hacia el desgasificador a 290°C.

El alternador genera 412 MW netos de electricidad a partir de la potencia obtenida de la turbina.

La corriente de vapor exhausto pasa al condensador que trabaja a una presión de 0.06 bar. En este equipo se retiran del ciclo 2,280,000,000 kJ/h utilizando un caudal de agua de refrigeración de 14,324 m<sup>3</sup>/h provenientes de la torre de refrigeración.

El condensado se bombea al desgasificador donde se mezcla con la extracción de vapor trabajando a 16 bar de presión.

Finalmente el ciclo se cierra al bombear el agua líquida de vuelta a la caldera con un coste neto de bombeo de 12 MW por grupo.

El Plano 4 contiene el Diagrama de Proceso de la central térmica.

La Figura M-IV muestra un diagrama explicativo de la central térmica diseñada dividido en dos secciones y especificando los cuatro equipos fundamentales del circuito.

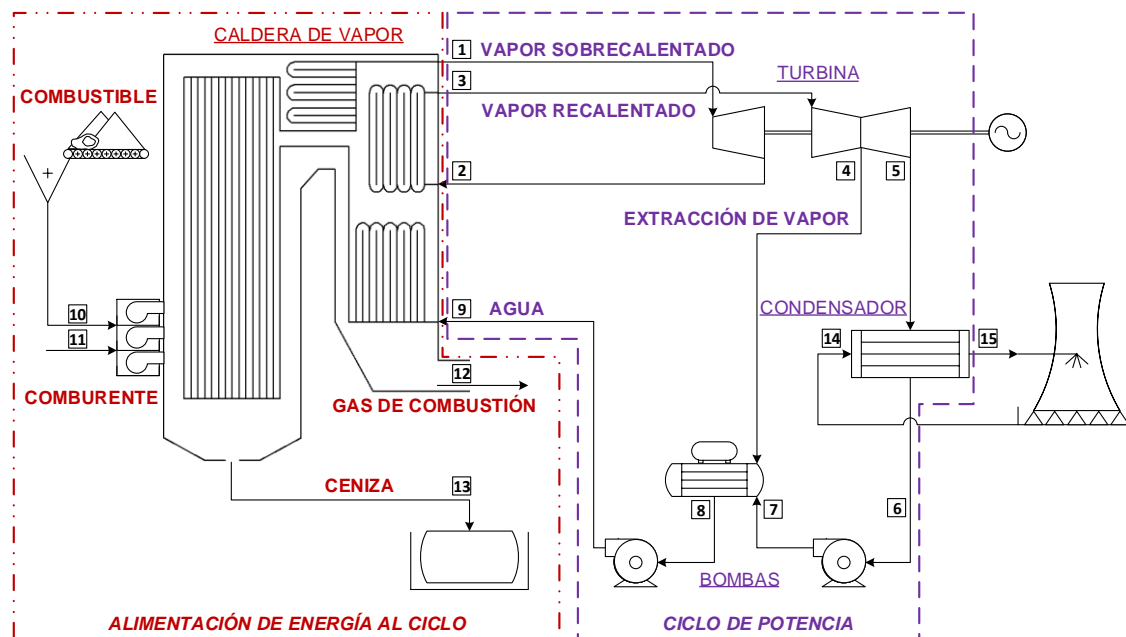


Figura M-IV Diagrama simplificado del funcionamiento de la central

## M.7 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA DE VAPOR

La cesión de energía al ciclo se produce con un ratio de 6.8 kilogramos de vapor sobrecalentado obtenido por cada kilogramo de carbón quemado.

La caldera de vapor es el equipo donde ocurre este intercambio de energía. En el Anexo 8: Diseño de Equipo: Caldera de Vapor, se explica el procedimiento de diseño.

La caldera de vapor de la central es de tipo acuotubular –el agua circula por el interior de tubos absorbiendo calor, mientras que en el exterior, se genera una atmósfera ardiente causada por la combustión del carbón y la circulación de gas caliente.

La Hoja de Especificaciones del Pliego de Condiciones contiene toda la información de proceso y de las características de diseño de la caldera de vapor.

## **M.7.1 TRANSMISIÓN DE CALOR**

---

La estructura de la caldera de vapor es compleja y se organiza en torno a tres zonas en las que predomina uno o varios mecanismos de transmisión de calor:

El **hogar** es un amplio volumen donde se dispara el carbón pulverizado mezclado con el comburente. La temperatura del hogar se sitúa en 1400°C. A lo largo de las paredes están distribuidos tubos de gran longitud dispuestos en fila única en lo que se conoce como un generador de vapor.

- En el generador de vapor, agua líquida precalentada cambia de fase al circular por el interior de los tubos. Esto sucede debido a que la superficie de los tubos absorbe una enorme cantidad de calor mediante el *mecanismo de radiación* al estar expuestos a la gran llama producida por la combustión.

La **pantalla de choque** es una zona conformada por bancos de tubos que separan el hogar del resto de la caldera. Absorben calor por *convección* del gas caliente producto; también están expuestos a la *radiación* del hogar.

- El sobrecalentador recoge el caudal proveniente del generador de vapor y eleva su temperatura hasta que se obtienen las condiciones requeridas por el ciclo. La pantalla de choque está conformada íntegramente por una parte del sobrecalentador.

El **banco de convección** son los tubos que forman el resto de las partes de la caldera y que se calientan mediante la circulación en contracorriente del gas de combustión. Las superficies termo-intercambiadoras que conforman este espacio además de una parte del sobrecalentador son dos:

- El recalentador proporciona la cesión de calor que requiere la etapa de recalentamiento del ciclo de potencia.
- El economizador recibe el agua alimentada a la caldera donde se precalienta utilizando el calor sensible del gas de combustión hasta que abandona el sistema. El agua caliente se envía al generador de vapor del hogar.



## **M.7.2 DIMENSIONES**

---

Los tubos que se utilizan en la caldera de vapor están conformados por acero inoxidable austenítico con una composición en peso de 18Cr-9Ni-2W—Nb-V-Ni.

Las dimensiones de las zonas de la caldera dónde se sitúan estos tubos se resumen en la Tabla M-I.

DIMENSIONES	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>HOGAR</b>	<b>4.5</b>	<b>30.5</b>	<b>4.5</b>	<b>609.8</b>
<b>SOBRECALENTADOR</b>	<b>7.6</b>	<b>4.6</b>	<b>4.6</b>	<b>158.9</b>
<b>RECALENTADOR</b>	<b>4.6</b>	<b>6.0</b>	<b>4.6</b>	<b>126.3</b>
<b>ECONOMIZADOR</b>	<b>4.6</b>	<b>17.9</b>	<b>4.6</b>	<b>374.7</b>

*Tabla M-I Dimensiones de la caldera de vapor*

## **M.7.3 RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS DE EFICIENCIA**

---

Las pérdidas de rendimiento en la caldera se concentran en la absorción de calor de los gases que circulan por la misma. Elementos como el nitrógeno, que se encuentra en el comburente en grandes cantidades, o compuestos como el dióxido de carbono producto, que se encuentra en su máximo estado de oxidación, absorben parte de la energía destinada al ciclo de potencia.

La humedad presente en combustible y en comburente también disminuye la eficiencia térmica de la caldera, además existe una cantidad de energía que se desaprovecha debido a que los mecanismos de transmisión de calor no ocurren de manera ideal.

Contabilizando estas pérdidas la eficiencia térmica de la caldera de vapor diseñada es de 82%.

## M.7.4 LAZO DE CONTROL

El sistema de control en lazo cerrado planteado tiene como objetivo que la temperatura de salida del gas de combustión se mantenga estable en torno a su temperatura de diseño, 389°C. Se muestra en la Figura M-V.

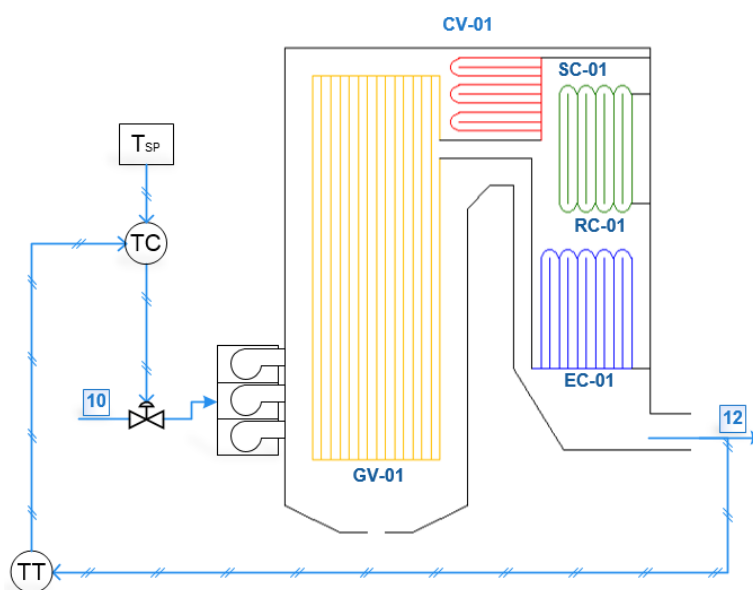


Figura M-V Sistema de control de la temperatura de salida del gas de combustión

Las principales perturbaciones que afectarían al proceso son:

- Cambio en las condiciones del aire atmosférico.
- Cambio en la composición del combustible.

## M.8 ORGANIZACIÓN DE LA CENTRAL

La distribución de espacio y personal en la central se explica en el Anexo 9: Distribución en Central.

La organización exacta de las zonas de la central se visualiza en el Plano 3.

### **M.8.1 ZONAS**

---

La parcela tiene una superficie de 270,020 m<sup>2</sup>, suficiente para ubicar las cuatro zonas principales:

- Zona A-1 y Zona A-2: Zona de acceso de vehículos de transporte de combustible y parque de carbón para alimentar a los grupos de la central.
- Zona B: Área de proceso, donde se ubica la caldera de vapor con el resto de equipos del ciclo de potencia.
- Zona C: Área de refrigeración, amplio espacio para ubicar las torres de refrigeración.
- Zona D: Espacio donde se ubican los edificios y oficinas donde trabaja el personal.

### **M.8.2 EMPLEADOS**

---

La central trabaja en régimen continuo de operación durante 334 días al año funcionando con un total de 140 empleados, cuyo régimen laboral es de 40 horas semanales de trabajo efectivo. Los puestos de los empleados de la central se dividen en cuatro categorías.

- Técnicos y personal de dirección: Engloba los cargos de mayor responsabilidad: Ingenieros de procesos, químicos, responsables de seguridad y medio ambiente y técnicos de control e instrumentación. Los dos puestos de dirección son el de gerente y director general.
- Personal especializado: Esta categoría contiene personal de puestos no relacionados y relacionados directamente con el proceso de generación; electricistas, fontaneros, mecánicos, técnicos de laboratorio y enfermeros.
- Operarios: Los encargados de operar los diferentes equipos. Incluye los encargados de la caldera de vapor, turbina, condensador, bombas, desgasificador, molinos, sistemas de refrigeración, generación eléctrica y de la carga de combustible.
- Personal administrativo: Incluye administrativos, contables, secretarios y recepcionistas, además de un sociólogo experto en comunicación, encargado de administrar y mejorar las relaciones con las comunidades próximas a la central.

---

## **M.9 BALANCE ECONÓMICO**

---

Los 2000 MW de potencia neta de la central térmica generan un ingreso neto equivalente a 57,691 € por cada hora de funcionamiento. El cálculo de la rentabilidad y los costes de inversión se explica en detalle en el Anexo 10: Evaluación Económica.

### **M.9.1 COSTE DE PRODUCCIÓN**

---

Formado por los costes de fabricación y los costes de gestión. Contabilizando desde la materia prima hasta el coste del seguro asciende a un total de 878,990,652 € anuales.

### **M.9.2 CAPITAL INVERTIDO**

---

El capital total de inversión que se requiere para la construcción y operación de la central es de 982,342,002 € netos de los cuales 157,984,589 € es capital circulante.

El inmovilizado tiene un valor de 824,357,413 €. Esta cifra incluye no sólo el coste del capital físico para la central térmica, sino también el coste de los equipos de tratamiento del gas de combustión para reducir las emisiones contaminantes.

### **M.9.1 RENTABILIDAD Y PERIODO DE RECUPERACIÓN**

---

El beneficio neto de la central térmica es de 461,526,730 € por año, que frente al capital invertido supone un 47% de rentabilidad neta anual.

El periodo de tiempo en el que se recupera el capital invertido es de 2.13 años de funcionamiento de la central, que equivalen a veinticinco meses y medio de generación eléctrica.

---

## **M.10 PRESUPUESTO**

---

Este estudio con entidad propia, incluido en el presente proyecto, recopila el presupuesto de ejecución material, el presupuesto de ejecución por contrata y el presupuesto total de obras, que tienen el siguiente valor:

- Presupuesto de ejecución material = 602,600,448 €
- Presupuesto de ejecución por contrata = 853,101,454 €
- Presupuesto total de obras = 912,818,556 €

---

## **M.11 ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL**

---

Se trata de un estudio con entidad propia incluido al final de este proyecto.

Los riesgos originados al trabajar con los compuestos presentes en el proceso de generación de electricidad son:

- La declaración de incendios.
- La posibilidad de que se produzcan explosiones.
- La inhalación de mezclas de gases tóxicos.
- Los accidentes relacionados con la instalación eléctrica.

Los mecanismos principales de prevención de accidentes laborales utilizados en la central son el sistema de ventilación y los sistemas de prevención de posibles incendios originados por las fuentes de combustible o por las fuentes de alta tensión.

---

## **M.12 CONCLUSIONES**

---

Con el objetivo de generar 16,000 GWh de electricidad anuales, en este proyecto se plantea la construcción de una central térmica con una potencia instalada total de 2000 MW.

El mecanismo de generación diseñado es un ciclo convencional de cinco grupos de 400 MW que emplea antracita y hulla como combustible y funciona con la tecnología de combustión de carbón pulverizado.

El ciclo de potencia que opera en la central es un ciclo Rankine con sobrecalentamiento, recalentamiento y regeneración, logrando un rendimiento de ciclo del 38%. La caldera de vapor se diseña en detalle y se obtiene una eficiencia térmica del 82%, lo que establece el rendimiento neto del proceso en un 31%.

La central térmica cuenta con 140 empleados y se localiza en España, en la provincia de A Coruña, con objeto de facilitar el suministro de combustible obtenido de los yacimientos de las cuencas mineras de Asturias.

La inversión necesaria para construir la central es de 982,342,002 €, que con la rentabilidad neta anual del 47% se recupera en un periodo de 2.13 años.

La central térmica podrá cubrir parte de la demanda de electricidad prevista para los próximos 25 años y obtener un beneficio neto anual de 461,526,730 €.

**Salamanca, a 30 de Agosto de 2015**

**Fdo. Guillermo Mira Osuna**

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 1:  
SELECCIÓN DE PROCESO





---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>1</b>	<b>SELECCIÓN DE PROCESO .....</b>	<b>1-1</b>
<b>1.1</b>	<b>CICLO CONVENCIONAL .....</b>	<b>1-1</b>
1.1.1	COMBUSTIÓN DE CARBÓN PULVERIZADO .....	1-4
1.1.2	COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDIZADO .....	1-7
1.1.3	COMBUSTIÓN DE LODOS RESIDUALES.....	1-8
1.1.4	COMBUSTIÓN DE FUEL-OIL.....	1-9
1.1.5	CARACTERÍSTICAS DEL CICLO CONVENCIONAL.....	1-11
<b>1.2</b>	<b>CICLO COMBINADO .....</b>	<b>1-13</b>
1.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL CICLO COMBINADO .....	1-16
<b>1.3</b>	<b>CENTRAL TERMOÉLECTRICA NUCLEAR.....</b>	<b>1-17</b>
1.3.1	CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUCLEAR.....	1-19
<b>1.4</b>	<b>COMPARACIÓN DE PROCESOS Y SELECCIÓN.....</b>	<b>1-20</b>
1.4.1	DESCRIPCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	1-20
1.4.2	PROCESO .....	1-21
<b>1.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>1-23</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-I (a): Representación termodinámica de los equipos utilizados en el ciclo de potencia Rankine: bomba, caldera, turbina y condensador.....	1-1
Figura 1-II Representación de una central térmica de ciclo convencional.....	1-3
Figura 1-III Diagrama simplificado de una central térmica de ciclo convencional con combustión de carbón pulverizado .....	1-5
Figura 1-IV Caldera radiante tipo Carolina para quemar carbón pulverizado, 203.4 bar, 541 °C, 617 kg/seg.....	1-6
Figura 1-V Diagrama simple del funcionamiento de la combustión en lecho fluidizado .....	1-7
Figura 1-VI Diagrama de flujo de la combustión combinada de flujos residuales en la central térmica de Mumsdorf .....	1-8
Figura 1-VII Quemador de fuel-oil .....	1-9
Figura 1-VIII Caldera industrial para quemar fuel-oil y gas .....	1-10
Figura 1-IX (a): Representación termodinámica de los equipos utilizados en el ciclo de potencia Brayton .....	1-13
Figura 1-X (a): Representación termodinámica de equipos utilizados en ciclo combinado para los ciclos de potencia de gas y de vapor .....	1-14
Figura 1-XI Diagrama de una central térmica de ciclo combinado .....	1-16
Figura 1-XII Representación del funcionamiento de una central termoeléctrica nuclear .....	1-18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-I Tendencia de la distribución de pérdidas de rendimiento de la caldera de una central térmica de ciclo convencional de tecnología PCC. Las pérdidas menores se engloban en el porcentaje de pérdida inexplicable .....	1-12
---	------

# 1 SELECCIÓN DE PROCESO

## 1.1 CICLO CONVENCIONAL

Las centrales térmicas que convierten la energía térmica producida por la ignición de un combustible a energía mecánica mediante el uso de una turbina de vapor se denominan centrales de ciclo convencional. Su funcionamiento está basado en el ciclo termodinámico Rankine de potencia para agua-vapor. El ciclo Rankine refleja el comportamiento de un sistema formado por cuatro unidades donde se aplican cuatro procesos al fluido de trabajo, acorde con la Figura 1-1.

- Proceso adiabático reversible (isoentrópico) en la turbina de 1 a 2. El fluido pierde presión y se obtiene trabajo.
- Proceso isobárico de enfriamiento con cambio de fase en el condensador. Desde 2 a 3.
- Proceso adiabático reversible (isoentrópico) en la bomba del estado 3 al estado 4 en la región líquido. Se realiza un trabajo sobre el sistema.
- Proceso isobárico de calentamiento con cambio de fase de líquido a vapor en la caldera. De 4 a 1.

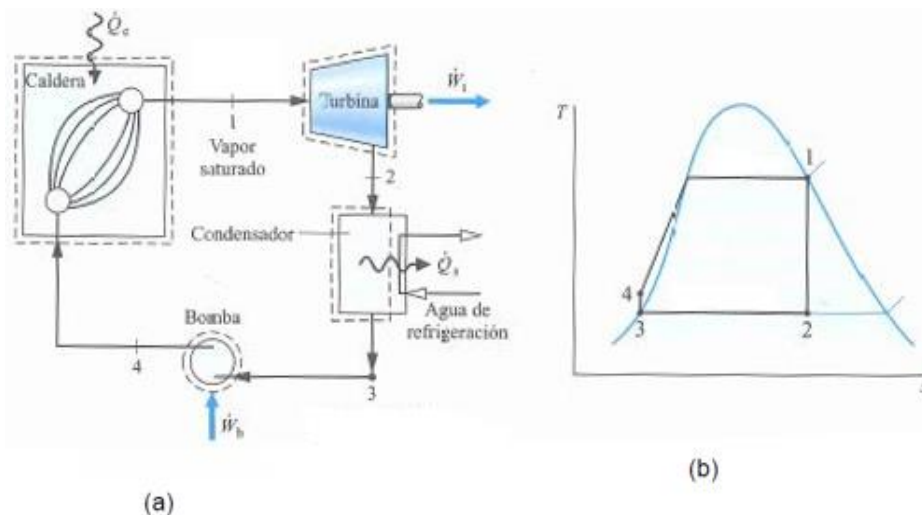


Figura 1-1 (a): Representación termodinámica de los equipos utilizados en el ciclo de potencia Rankine: bomba, caldera, turbina y condensador

(b): Diagrama temperatura-entropía del ciclo Rankine ideal (Moran, y otros, 2012)

El ciclo Rankine es la representación física de un sistema termodinámico donde se considera que los procesos transcurren de manera ideal. En el proceso industrial sin embargo, existen caídas de presión, irreversibilidades debidas a la fricción y pérdidas de calor que condicionan que no todo el calor disponible en la materia prima utilizada pueda ser convertida en trabajo, definiendo así el concepto de rendimiento térmico del proceso. Para mejorar el rendimiento del ciclo se emplean diferentes técnicas que modifican el ciclo.

La central térmica de ciclo convencional se representa en Figura 1-II y consta de tres equipos fundamentales:

- Caldera de vapor: Equipo de gran tamaño que trabaja a elevada presión y temperatura donde ocurre la transmisión del calor. Agua líquida pasa a estado de vapor debido al calentamiento producido por la energía liberada en la reacción exotérmica de combustión. Correspondiente a la isobara 2-3 del ciclo de Rankine.
- Turbina: El vapor de agua proveniente de la caldera acciona las palas de la turbina mediante un sistema de presiones. La turbina consta de tres cuerpos que giran a gran velocidad y la potencia generada corresponde al proceso isoentrópico 3-4.
- Generador eléctrico: Los tres cuerpos de la turbina giran solidarios al mismo eje transmitiendo la rotación al generador. Debido al fenómeno físico de inducción electromagnética el giro del rotor frente al estator genera una corriente alterna trifásica.

Los equipos secundarios de la planta son:

- Condensador: Intercambiador de calor que enfría el vapor muerto procedente de la turbina con un circuito independiente de agua. No existe una mezcla material entre el vapor y el agua de refrigeración, sino que solo hay un intercambio energético para que condense el vapor. Corresponde a la isobara 4-1.
- Torre de refrigeración: Enfría el agua circulante utilizada en el condensador para licuar el vapor mediante contacto directo aire atmosférico. Parte del agua se pierde en este proceso, pero se considera que se trabaja con un ciclo de agua cerrado. Así la torre de refrigeración es un equipo destinado a paliar la contaminación térmica de la fuente de agua que la central térmica utilice para su funcionamiento.
- Chimenea: Equipo cuya función es liberar los gases tratados y de composición conocida a la atmósfera.

- Equipos de tratamientos de gases de combustión: Dependiendo de la materia prima utilizada y de la composición que se requiere de los gases generados por la ignición del combustible tendremos determinados equipos previos a la chimenea para aplicar operaciones de separación a los gases antes de liberarlos a la atmósfera.

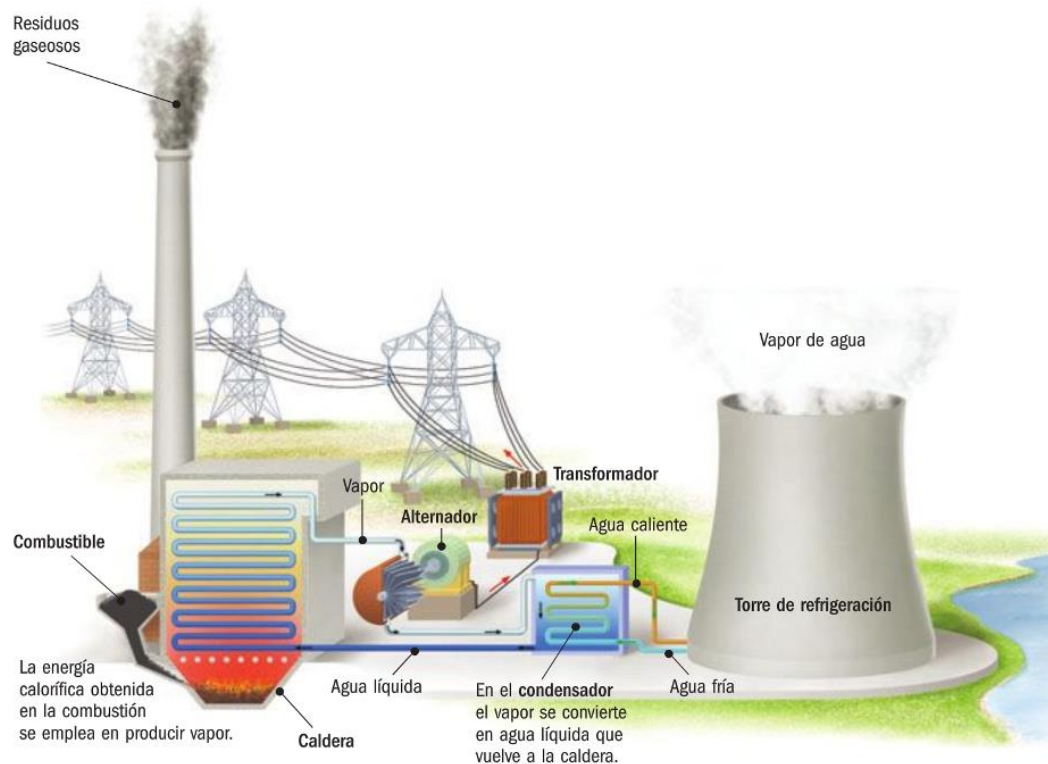


Figura 1-II Representación de una central térmica de ciclo convencional

- Tecnología de ignición de combustibles fósiles: La caldera es el equipo base de las centrales térmicas. Para el proceso de ciclo convencional, si bien todas las unidades comparten un número común de elementos fundamentales y características, el tipo y dimensiones de la caldera de vapor depende directamente del tipo de combustible fósil que se va a utilizar y de la técnica que se va a emplear para su combustión.

### **1.1.1 COMBUSTIÓN DE CARBÓN PULVERIZADO**

---

Utilizando carbón como materia prima, el objetivo del proceso es trabajar con la mayor área superficial y por lo tanto el menor tamaño posible de las partículas alimentadas a la caldera para lograr una buena reacción de combustión.

Esto se logra mediante una técnica que en la industria recibe el nombre de combustión de carbón pulverizado (PCC)<sup>1</sup>.

En la Figura 1-III se muestra un diagrama general de una central térmica preparada para operar con la tecnología PCC donde se visualizan los equipos que participan en el proceso.

La materia prima se transporta en camiones a la planta y se almacena en un espacio denominado parque de carbón. Previo al almacenamiento la composición media del carbón ha de ser analizada. Cuando está listo para su uso mediante cintas se transporta el carbón a las tolvas de almacenamiento.

Una vez en la tolva el carbón pasa de manera distribuida a una de las entradas de los molinos de pulverización, que son equipos que contienen unas bolas que giran moliendo y machacando el carbón para disminuir el tamaño de partícula. Funcionan mediante un motor eléctrico. Por la otra entrada del molino entra aire impulsado mediante ventilador y precalentado por parte de la energía liberada en la caldera. Este aire caliente se mezcla con las partículas pulverizadas de carbón y las levanta en suspensión para llevarlas por una tubería hasta los quemadores situados a los laterales de la caldera. Los quemadores son encendidos por una parte del quemador donde se produce una combustión complementaria de fuel-oil (fuelóleo) y aire secundario precalentado. Así el carbón pulverizado se dispara a alta presión y temperatura a la caldera donde combustiona. Mientras la reacción transcurre y se van formando los gases de combustión, un sistema de precipitación, o bien de generación de ciclón o bien electrostático, retira la ceniza inerte sólida que pueda haber presente para luego almacenarla como subproducto.

---

<sup>1</sup> Pulverised Coal Combustion.

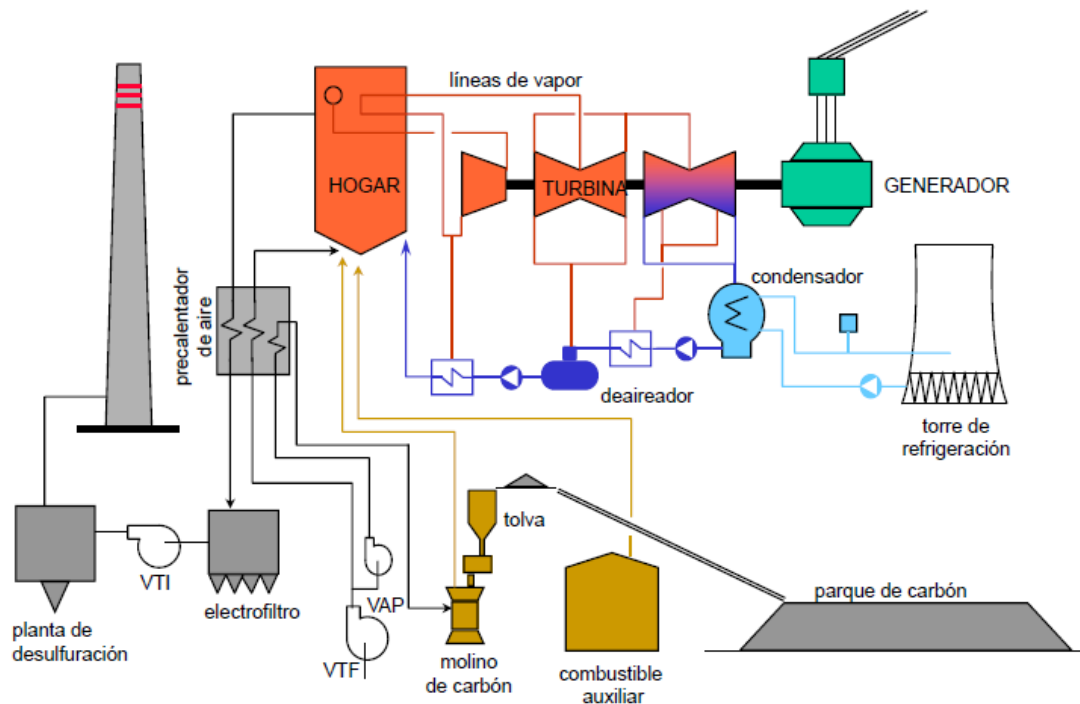


Figura 1-III Diagrama simplificado de una central térmica de ciclo convencional con combustión de carbón pulverizado

Con un diseño óptimo de la tecnología PCC se consigue que la caldera tiene un rendimiento de combustión de entre el 80-85%. Al tratarse de un ciclo térmico de turbina de vapor el aprovechamiento del contenido entálpico no supera el 45 %. Las pérdidas electromecánicas en el generador sitúan el rendimiento de la conversión de energía mecánica en energía eléctrica en un 97-99%, y las pérdidas encadenados de diferente tipo y a lo largo del tiempo en todos los equipos suponen que para una planta que opere en continuo se logre un aprovechamiento final máximo de 35-38%. Si a esta eficiencia se le descuenta el consumo de electricidad para servicios auxiliares la eficiencia neta para el período activo de la planta queda entre el 33-35%. Esto significa que de toda la energía disponible en cada unidad de carbón, tan solo el 35 % se logra aprovechar como energía eléctrica disponible para su inserción en la red.

En la Figura 1-IV se muestra un esquema detallado de una caldera de vapor de tipo radiante típica para operar con carbón pulverizado donde se visualizan la tolva, los molinos, el ventilador de aire, y los quemadores; además se especifican las condiciones de operación para una producción de vapor de 617 kg/seg. Este tipo de calderas está diseñada para tener una versatilidad alta respecto a la quema de combustible, permitiendo la utilización de más tipos de materia prima sólida con poder calorífico alto previamente pulverizado.

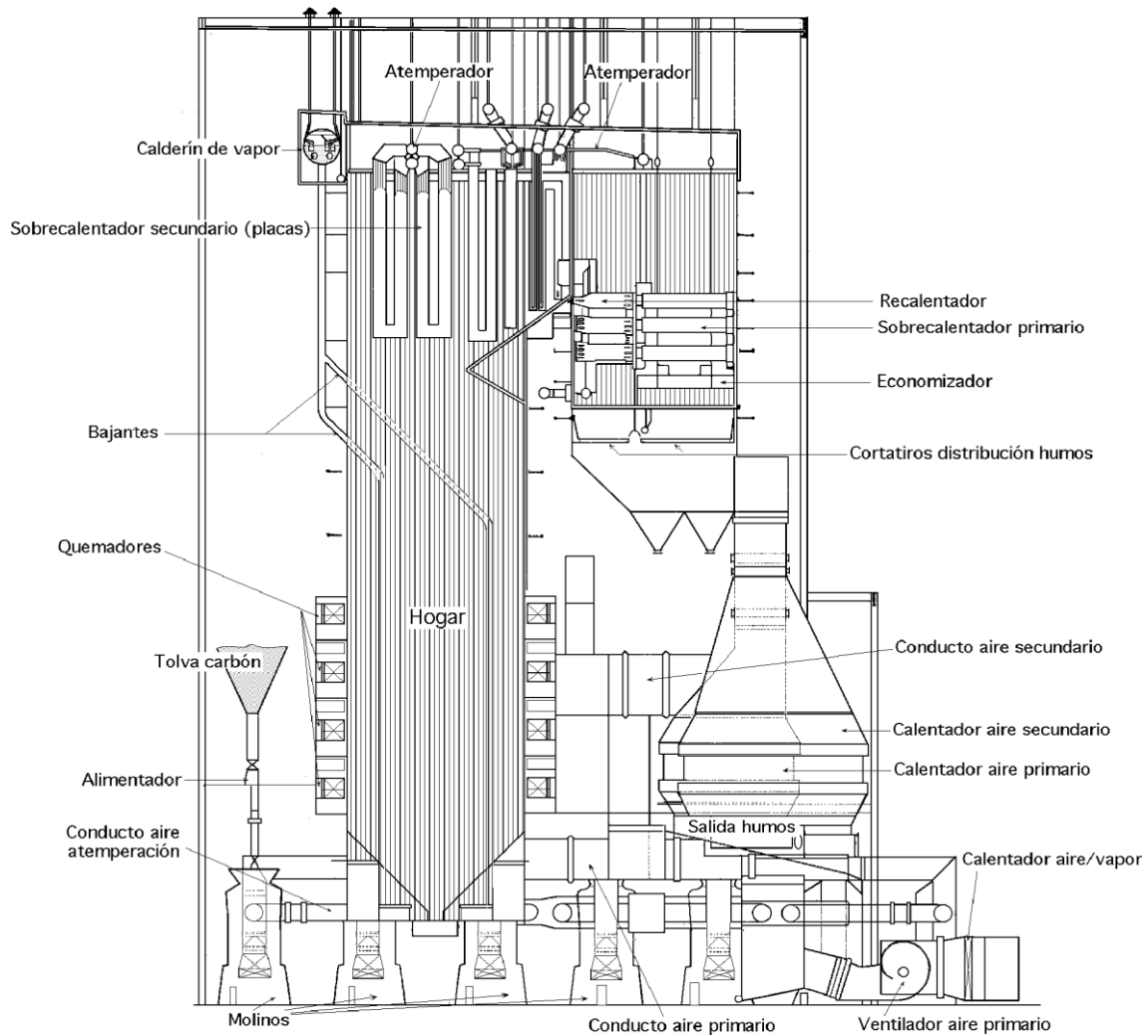


Figura 1-IV Caldera radiante tipo Carolina para quemar carbón pulverizado, 203.4 bar, 541 °C, 617 kg/seg (Foster Wheeler, 2010)



### 1.1.2 COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDIZADO

Esta tecnología utiliza carbón como combustible y tiene como objetivo quemar las partículas de carbón en un lecho fluidizado para mejorar la transmisión de calor (Figura 1-V). El lecho consiste en una capa gruesa de inerte como puede ser piedra caliza, o ceniza. Aire caliente se introduce distribuido equitativamente por la base de la caldera a altas velocidades para mantener en suspensión las partículas sólidas haciendo que el lecho adquiera propiedades similares a las de un fluido. Una vez la fluidización tiene lugar se introduce el carbón y se logra una mezcla homogénea con el lecho. Si la temperatura de éste es elevada, se produce la reacción de combustión entre el carbón y el aire. El lecho se comporta como un fluido, lo que quiere decir que la transmisión de calor en todo el lecho será buena y homogénea. El agua circula por tubos que se introducen por el centro del lecho fluidizado para aprovechar la energía generada por la combustión.

En la base del equipo se requiere un sistema que de salida a la ceniza inerte generada en la combustión que se haya podido acumular en la base. Ya que se trata de un lecho fluidizado, no todo el sólido caerá en la base, así que también se necesita un separador de partículas para eliminar los restos de sólido del gas de combustión. Para trabajar en lecho fluidizado se requiere un excelente control de proceso y de conocimiento de la composición del carbón que se va a emplear.

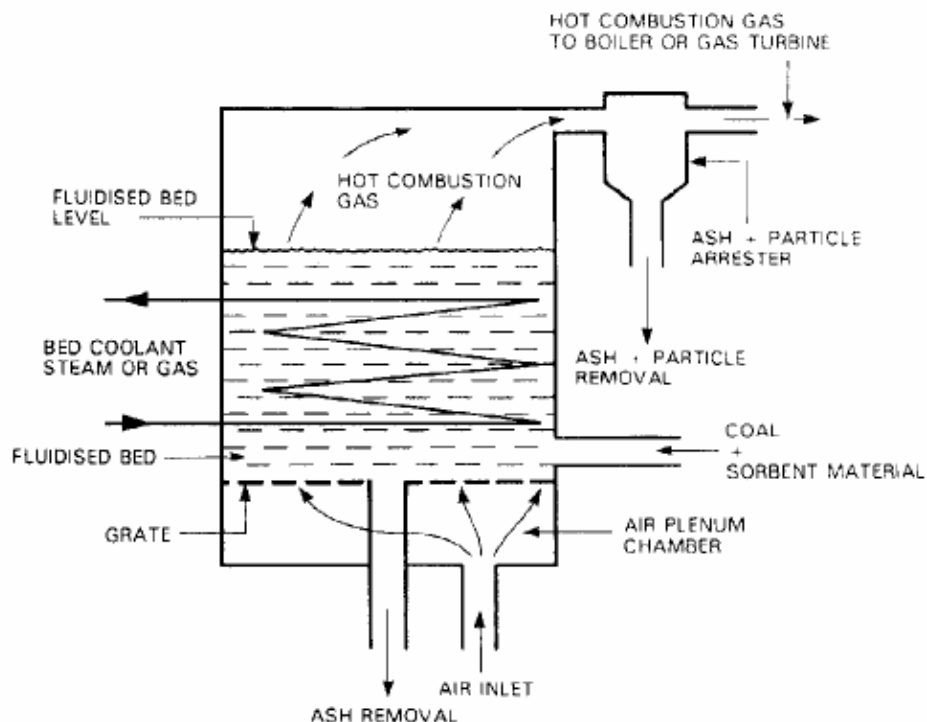


Figura 1-V Diagrama simple del funcionamiento de la combustión en lecho fluidizado

El rendimiento térmico del lecho fluidizado es equivalente al alcanzado en la tecnología PCC.

### 1.1.3 COMBUSTIÓN DE LODOS RESIDUALES

Las centrales térmicas destinadas a trabajar en ciclo convencional con carbón tienen la versatilidad y el diseño adecuado de caldera para permitir la combustión de lodos residuales provenientes de una estación depuradora de aguas residuales (E.D.A.R.) previamente deshidratados mediante un tratamiento mecánico. El uso combinado de carbón y de lodos residuales presenta las ventajas de obtener un beneficio económico por la reducción en el coste de materia prima a la par que se reducen cargas adicionales para el medio ambiente. La denominada línea de lodos residuales es la única ampliación que requiere una instalación adicional para la tecnología de combustión de carbón pulverizado (Figura 1-VI). Tanto el carbón como los lodos deshidratados se introducen a los equipos de molienda juntos, formándose una mezcla de partículas pulverizadas que entra a los quemadores para luego dispararse a la caldera de vapor.

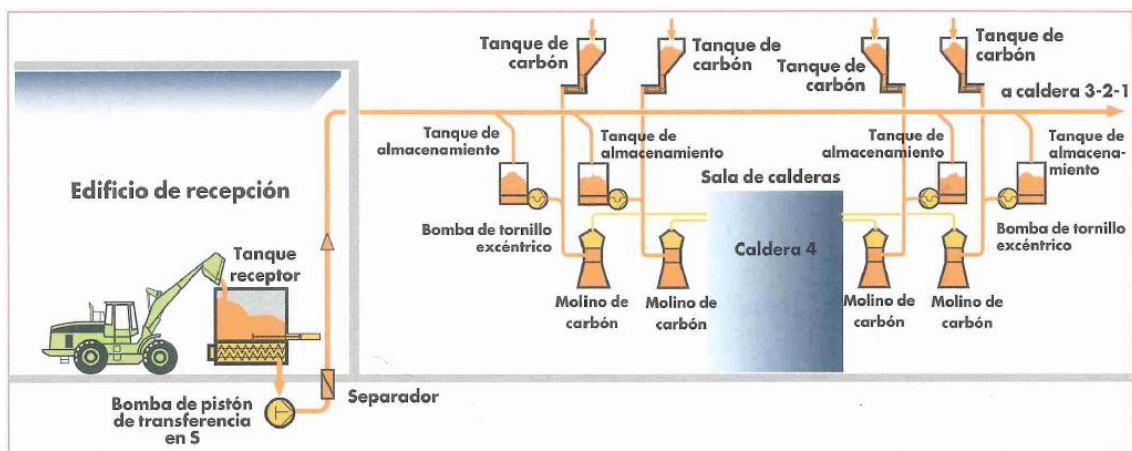


Figura 1-VI Diagrama de flujo de la combustión combinada de flujos residuales en la central térmica de Mumsdorf (Combustión de lodos residuales de EDAR en centrales térmicas de carbón, 2004)

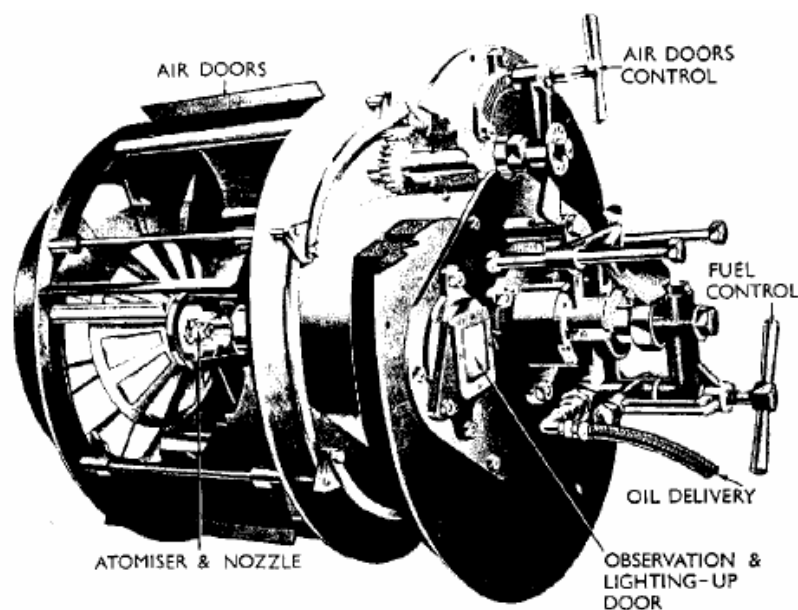
Sin embargo, la utilización de lodos residuales como combustible en una central que utilice la tecnología de combustión en lecho fluidizado no es posible. Si bien la caldera dispone de un sistema que cada cierto tiempo da salida a la acumulación de sólidos en la base, la efectividad de éste no es suficiente para eliminar eficazmente los sólidos inertes contenidos en los lodos antes de que sean arrastrados por los gases de combustión debido al diseño del lecho.

Además, la adición de un combustible cuyas propiedades físicas difieren mucho de las del carbón, perjudicaría el control del proceso y dificultaría la fluidización.

Debido a esto, la línea de lodos residuales se emplea solo en centrales que utilizan calderas diseñadas para tener versatilidad de combustión de diferentes materias primas sólidas. La ampliación se puede añadir a la central térmica durante cualquier momento del período activo de la planta teniendo un coste de inversión comparativamente bajo frente a las ventajas obtenidas (Combustión de lodos residuales de EDAR en centrales térmicas de carbón, 2004).

#### **1.1.4 COMBUSTIÓN DE FUEL-OIL**

Requiere fuel-oil como materia prima principal, pero se combina con la combustión de gas natural en cantidades variables. Al tratarse de un hidrocarburo líquido, presenta las ventajas de que la manipulación de la materia prima antes de quemarse es más simple que la de otras tecnologías, además de que no contiene ningún tipo de ceniza inerte y por tanto no se desperdiciará energía en calentar el sólido. El proceso consiste en bombear el fuel-oil a una presión por encima de los 20 bar para transportarlo hasta los quemadores de tipo mostrado en la Figura 1-VII, que se encuentran en los laterales de la caldera. Dependiendo de la composición de fuel-oil, puede ser necesario un precalentamiento para reducir la viscosidad y que la atomización se produzca en las mejores condiciones.



*Figura 1-VII Quemador de fuel-oil (Rahim, 2010)*

En el centro del quemador se encuentra un atomizador mecánico para el fuel-oil que dispara el combustible por un orificio de pequeño diámetro a altas presiones para que luego entre en contacto con el aire y arda.

La caldera requerida, ver Figura 1-VIII, trabaja a menos presiones y la superficie termo-intercambiadora de calor se maximiza mediante el empleo de tubos de gran longitud poco espaciados entre sí. La potencia obtenida no es tan alta como para otro tipo de calderas –como las radiantes, utilizadas para quemar carbón– ya que se trata de una tecnología aplicada para usarse en calderas de menor tamaño y menor producción energética. (Gilchrist, 1969).

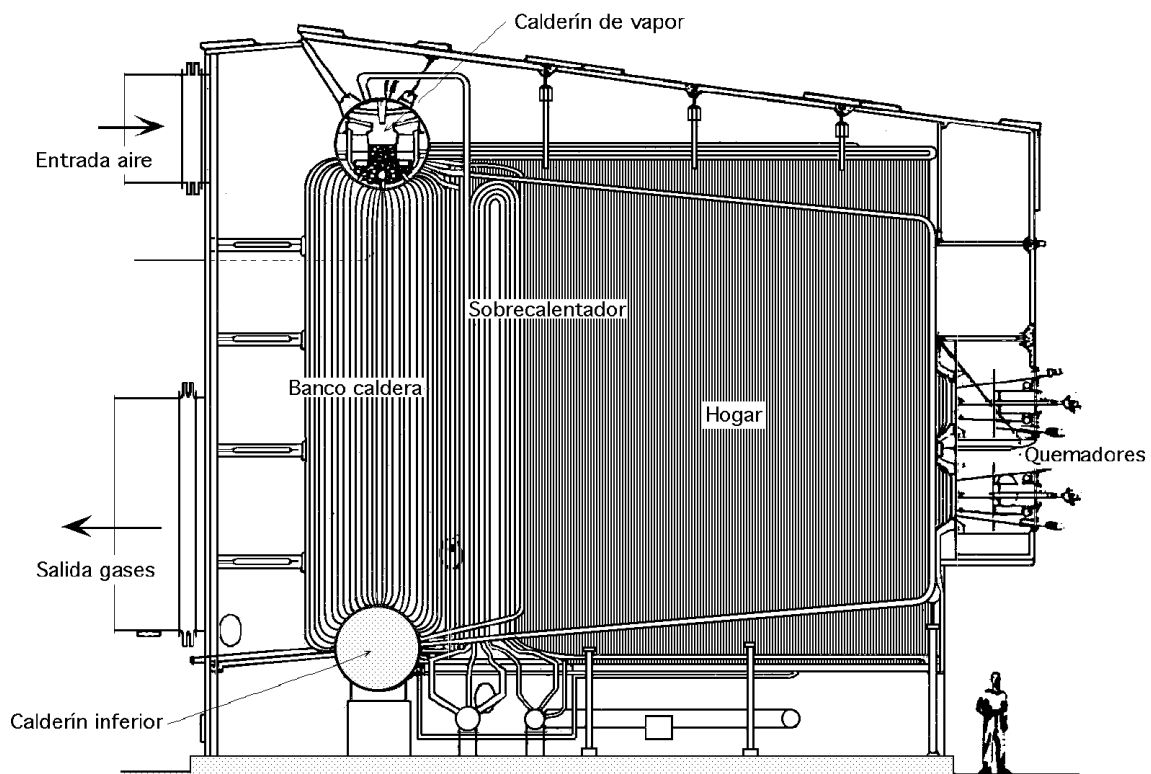


Figura 1-VIII Caldera industrial para quemar fuel-oil y gas (Foster Wheeler, 2010)

Para un ciclo convencional que utilice fuel-oil y gas, los rendimientos térmicos obtenidos son algo más altos que para una tecnología PCC o lecho fluidizado, alcanzado una eficiencia del orden del 39%. Casi todas las pérdidas de eficiencia se concentran en los humos liberados de la caldera, casi el 60%, lo que implica una contaminación térmica a la atmósfera fuerte. Sin embargo, la utilización de gas natural como combustible principal contribuye a la limpieza de la atmósfera, no siendo tan perjudicial como el uso de carbón. (Rizhkin, 1980).

### **1.1.5 CARACTERÍSTICAS DEL CICLO CONVENCIONAL**

---

El proceso de ciclo convencional ha sido el más empleado para la generación de energía eléctrica históricamente, lo que implica que se ha estudiado y desarrollado de forma extensiva y se conoce el funcionamiento en profundidad. La transmisión de calor y la eficiencia se han maximizado, y las técnicas desarrolladas de cara al diseño de la caldera se han optimizado para trabajar en condiciones de mayor rendimiento térmico durante los años de funcionamiento de la planta. Debido a su mayor simplicidad de construcción en comparación con otras tecnologías y a la generación masiva de energía, son las centrales que menos inversión inicial requieren de precio por megavatio a obtener (Severns, y otros, 1982).

- En concreto, las centrales térmicas con tecnología PCC han llegado a cubrir en el año 2012 el 41 % de la demanda mundial. Países como China, Estados Unidos, India, Alemania y Japón utilizan esta tecnología como fuente principal de generación de energía eléctrica debido a la fiabilidad de la tecnología y al uso de una materia prima de la que se disponen reservas muy superiores a las de cualquier otro combustible fósil (World Coal Association, 2012).
- En el caso de España, se cuenta con grandes reservas disponibles en territorio nacional tal como se especifica en el apartado 1.4.1, lo que de cara a la extensa vida de la planta supone que no se darán problemas de coste elevado de materias primas generado por una caída de la oferta debido al agotamiento de los recursos. Además no se dependerá directamente de otros países para obtener la materia prima, al contrario que si esta fuese de importación. La tecnología PCC y el lecho fluidizado son las únicas que permite esta independencia.
- La utilización de carbón como materia prima en el proceso de ciclo convencional tiene un impacto medioambiental muy alto debido a las emisiones de dióxido de carbono. En pos de un desarrollo sostenible y de la lucha contra el cambio climático, es importante asegurar la producción de electricidad con un sistema de captura de dióxido de carbono que reduzca al mínimo las emisiones. Este sistema tiene que ser acorde con la legislación europea e implica una mayor inversión para la construcción de la planta. En la actualidad se están investigando nuevas tecnologías, como la inyección de dióxido de carbono bajo tierra para su almacenamiento, que permitan minimizar al máximo el daño atmosférico generado con una tecnología PCC.

- La combustión de carbón genera un subproducto en gran cantidad, la ceniza volante. Se trata de un subproducto no peligroso, de fácil almacenamiento y con excelentes propiedades para su uso en el sector de la construcción y auxiliares, tanto para la fabricación de cemento y mortero como en rellenos en construcción. La fácil manipulación de grandes cantidades de ceniza permite su almacenamiento durante años para su venta cuando la demanda sea más interesante. Esto permite contribuir a la viabilidad económica de la planta mediante el mejor aprovechamiento de la materia prima. La tecnología PCC obtiene un mejor aprovechamiento del subproducto que la tecnología de lecho fluidizado.
- Las calderas empleadas en PCC tienen la mayor versatilidad en cuanto a la quema de combustible permitiendo la quema de productos desechables de bajo valor en el mercado tales como los lodos residuales, lo que supone una grandísima ventaja de viabilidad económica.

De cara al mantenimiento, se cuentan con datos muy concretos debido al extenso conocimiento registrado en estudios sobre el ciclo convencional que permiten prever la tendencia de la pérdida de eficiencia (Tabla 1-I), inevitable en cualquier central térmica con los años. Esto permite restringir el sobre diseño de los equipos principales para ahorrar en capital inmovilizado y desarrollar un plan de mantenimiento que asegure una alta producción energética a lo largo de la vida de la planta.

Tendencia de pérdidas en caldera	Porcentaje
Pérdida por humos secos (calor sensible)	5.16%
Pérdida por H <sub>2</sub> y humedad en combustible	4.36%
Pérdida por inquemados de combustible	0.50%
Pérdida por radiación	0.30%
Pérdida por humedad del aire	0.13%
Margen de fabricante y pérdida inexplicable	1.50%
<b>Rendimiento global (eficiencia total)</b>	<b>88.05%</b>

*Tabla 1-I Tendencia de la distribución de pérdidas de rendimiento de la caldera de una central térmica de ciclo convencional de tecnología PCC. Las pérdidas menores se engloban en el porcentaje de pérdida inexplicable (Generadores de vapor: Mantenimiento periódico, 1993)*

El programa de mantenimiento dirigido [P.M.D.] consiste en un conjunto de procedimientos bien definidos para permitir que una planta de ciclo convencional trabaje en condiciones de seguridad y que pierda el mínimo de eficiencia posible (Generadores de vapor: Mantenimiento periódico, 1993).

## 1.2 CICLO COMBINADO

Consiste en el acoplamiento de dos ciclos termodinámicos, uno donante y uno receptor, que generan potencia a partir de energía calorífica mediante la utilización de una turbina de vapor y una turbina de gas. El combustible que se requiere para el funcionamiento del proceso es el gas natural o gas de síntesis.

El ciclo que opera con el circuito de agua-vapor es el ciclo Rankine previamente explicado para el proceso de ciclo convencional.

El otro ciclo de potencia que complementa al ciclo Rankine es el ciclo Brayton, reflejado en la Figura 1-IX. Es el ciclo de potencia equivalente al ciclo Rankine para trabajar con un fluido sin cambio de estado en fase gaseosa. Para el ciclo Brayton ideal se utiliza aire, que se considera como gas ideal y con capacidad calorífica constante. Se trabaja en ciclo abierto.

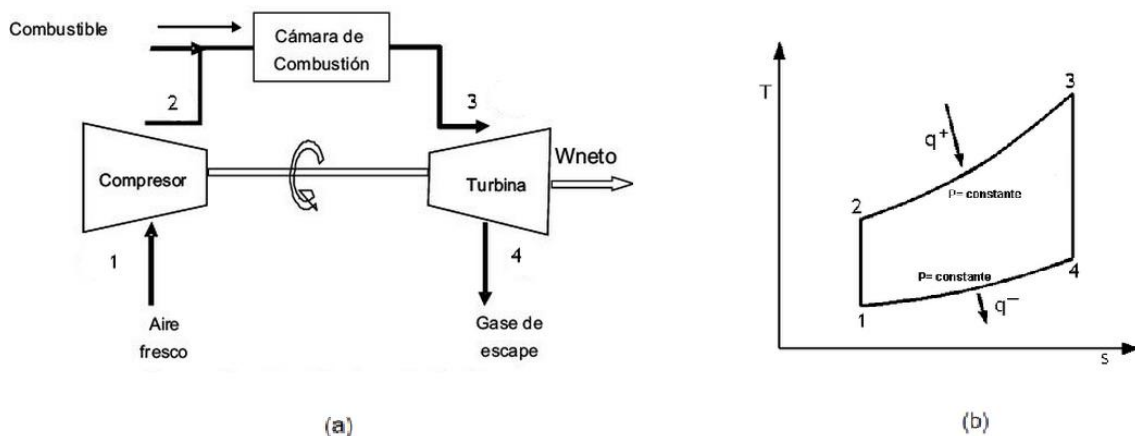


Figura 1-IX (a): Representación termodinámica de los equipos utilizados en el ciclo de potencia Brayton

(b): Diagrama temperatura-entropía del ciclo Brayton ideal

- Proceso adiabático reversible (isoentrópico) del estado 1 al estado 2 para comprimir aire atmosférico aumentando su presión.



- Proceso isobárico de calentamiento en la cámara de combustión. De 2 a 3.
- Proceso adiabático reversible (isoentrópico) en la turbina de 3 a 4. El fluido de operación pierde presión y la mayor parte del trabajo obtenido sirve para cubrir los requerimientos energéticos del compresor.
- Proceso isobárico de enfriamiento en 4. El aire caliente se libera a la atmosfera.

El nexo que combina ciclo Rankine y ciclo Brayton es la caldera de recuperación de vapor. Así el ciclo combinado presenta el diagrama T-s y los equipos mostrados en la Figura 1-X apartados (a) y (b).

El objetivo de la utilización de ambos ciclos es el aumento del rendimiento térmico del proceso frente a un único ciclo termodinámico Rankine. Sin embargo, una de las principales desventajas desde el punto de vista termodinámico es que el ciclo Brayton trabaja a la mayor temperatura posible de gases en la cámara de combustión de la turbina de gas, lo que no permite que la relación de compresión alcanzada sea óptima sino más baja., disminuyendo el rendimiento del ciclo Brayton.

Esto se debe a que para una misma temperatura máxima de gases, cuanto mayor valor alcanza la relación de compresión más disminuye la temperatura de los gases de escape de la turbina, que no es sino la fuente de calor para el ciclo de agua/vapor.

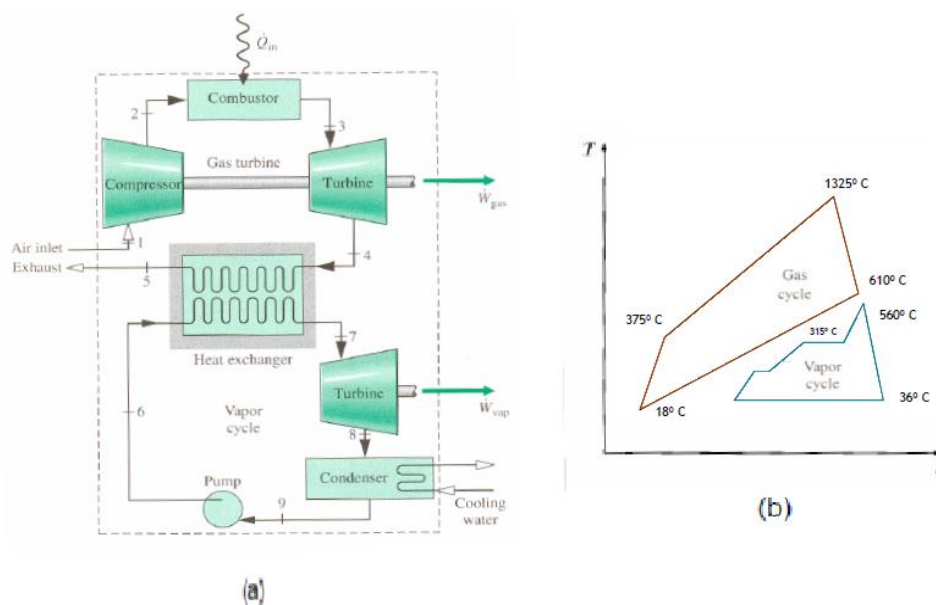


Figura 1-X (a): Representación termodinámica de equipos utilizados en ciclo combinado para los ciclos de potencia de gas y de vapor

(b): Diagrama temperatura-entropía del ciclo Brayton combinado con el ciclo Rankine (Rahim, 2010)



El proceso de ciclo combinado sigue el esquema mostrado en la Figura 1-XI y utiliza los siguientes equipos:

- Turbina de gas: Se trata de una maquina compleja que engloba un compresor y una cámara de combustión. El aire que se va a utilizar como combustible se comprime, elevando su presión y se inyecta a la cámara de combustión. En la cámara de combustión se introduce gas natural que se mezcla con el aire y reacciona debido a las condiciones de alta temperatura y presión. Los gases de salida se expanden en la turbina, generando un trabajo mecánico pero manteniendo una temperatura después del proceso de expansión del orden de 600°C. Aproximadamente un 60% del trabajo de expansión en la turbina se utiliza para comprimir el aire por lo que resulta una potencia útil (trabajo que el generador transforma en energía eléctrica) de sólo el 40%.
- Caldera de recuperación de calor: Los gases que expandidos que provienen de la turbina de gas pasan a este equipo. A pesar de que en la industria se denomina caldera de recuperación, no se trata de una caldera donde ocurre una reacción de combustión, como en las empleadas en el ciclo convencional, sino de un intercambiador de calor utilizado para aprovechar el calor sensible de los gases calientes para calentar un circuito de agua líquida y evaporarla.
- Turbina de vapor: Equivalente a la turbina empleada para el proceso de ciclo convencional pero usualmente de menor tamaño.
- Generador eléctrico: Equivalente al descrito para el proceso de ciclo convencional. Tradicionalmente se requieren dos, uno para cada turbina, pero actualmente se ha logrado en algunas centrales acoplar las turbinas de gas y de vapor con el objetivo de emplear un solo generador. Transforma la energía mecánica producida por las dos turbinas en energía eléctrica.

Los equipos secundarios son equivalentes a los equipos empleados en el ciclo convencional. Se emplea un condensador para poder operar con el ciclo de agua vapor, un sistema de bombeo y una torre de refrigeración si se trabaja con un circuito de agua cerrado.

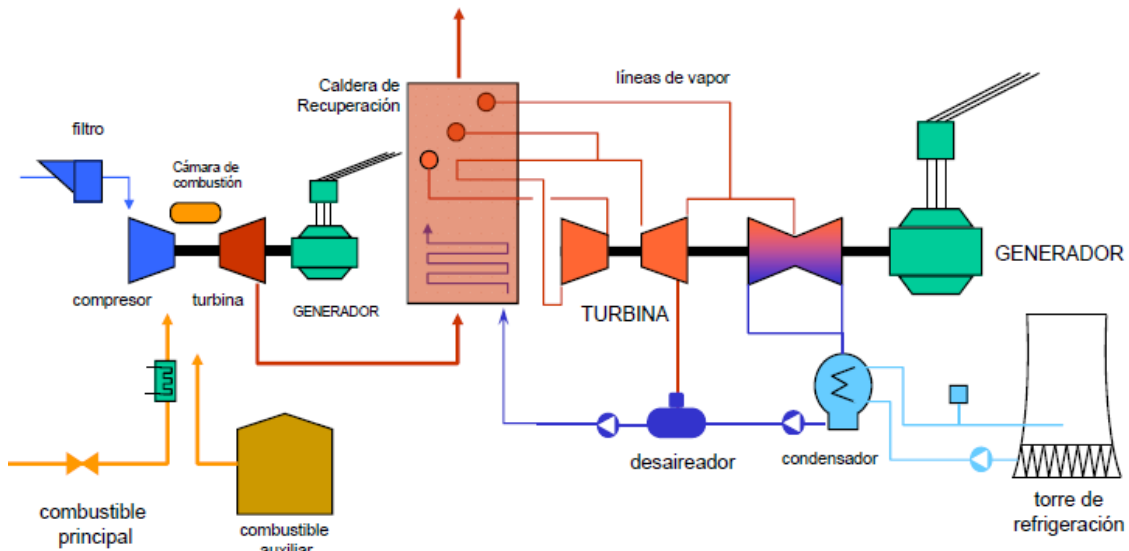


Figura 1-XI Diagrama de una central térmica de ciclo combinado

### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CICLO COMBINADO

La combinación de los ciclos termodinámicos permite que el rendimiento neto obtenido sea muy elevado de entorno al 55-57%, siendo ésta la principal ventaja del proceso.

La eficiencia se reparte en un 37% de energía eléctrica obtenida de la producción de la primera turbina de gas y un 20% obtenida mediante el segundo ciclo de agua-vapor.

- En la caldera de recuperación tan solo se pierde un 8% de eficiencia térmica en humos, lo que implica baja contaminación térmica atmosférica.
- El gas natural es un combustible fósil menos contaminante que el carbón, así la relación eficiencia-contaminación es muy superior a la obtenida, por ejemplo, para una tecnología PCC que carezca de técnicas de captura de dióxido de carbono.
- El gas natural es el combustible fósil más adecuado para cumplir los objetivos de reducción de emisiones de dióxido de carbono acordados en el protocolo de Kioto.
- La turbina de gas no precisa de refrigeración alguna, con lo que el consumo de agua solo se requiere para la turbina de vapor, y es menor que el de un ciclo convencional.

- La alta eficiencia del ciclo combinado sin embargo, requiere de un alto sobre-diseño de equipos para minimizar la pérdida de rendimiento a lo largo del tiempo. Además, la necesidad de casi duplicar los equipos de la planta implica una inversión inicial muy superior en comparación a la ya alta inversión del ciclo combinado.
- El uso de gas natural como combustible principal es un problema de peso debido al agotamiento de éste junto con el petróleo de las reservas tanto nacionales como mundiales, como se refleja en la sección de materias primas del Anexo de Estudio de Mercado. Esto supone que exista un alto grado de incertidumbre de cara al futuro sobre el aprovisionamiento de combustible y una previsión del encarecimiento de éste. Ya que las reservas nacionales son muy reducidas, España importa el gas natural principalmente del Norte de África y de varios países, lo que implica una dependencia directa de éstos y de la fluctuación del mercado internacional.
- El ciclo combinado tiene un diseño cerrado que no permite trabajar con un combustible que no sea gas natural o gas de síntesis, al contrario que en el ciclo convencional.
- No se obtiene subproducto alguno que contribuya a la viabilidad económica de la planta.

---

### **1.3 CENTRAL TERMOÉLECTRICA NUCLEAR**

---

La fisión nuclear del átomo de uranio por impacto de neutrones genera una gran cantidad de energía térmica que se puede aprovechar mediante una turbina de vapor. La energía liberada por la fisión controlada en un reactor nuclear calienta un circuito de agua líquida hasta que pasa a estado de vapor y se envía al grupo turbina-alternador para la transformación a energía mecánica y posteriormente a energía eléctrica (Figura 1-XII).

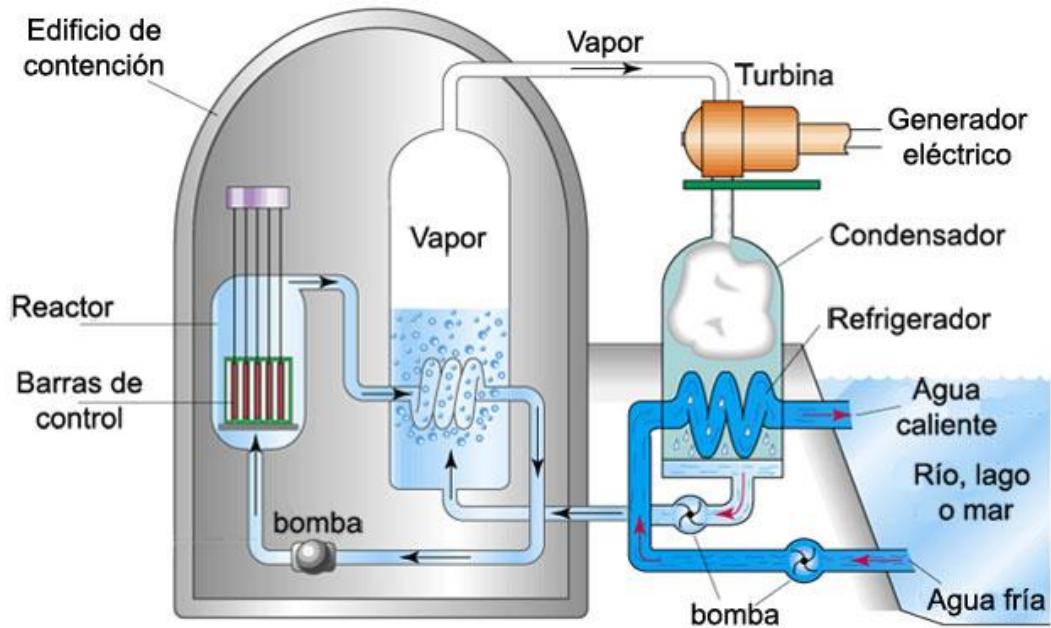


Figura 1-XII Representación del funcionamiento de una central termoeléctrica nuclear

La combinación de reactor y generador de vapor se abrevia como NSSS (Nuclear Steam Supply System) y hace referencia al sistema de refrigeración del reactor que origina vapor de agua como producto.

El NSSS es equivalente a la caldera de vapor en una central térmica de ciclo convencional.<sup>2</sup> El proceso de generación de potencia es por lo tanto igual al proceso del ciclo agua-vapor. Los equipos que se emplean son los mismos, exceptuando los equipos de tratamiento de gases ya que en una central termoeléctrica nuclear la energía calorífica no se obtiene de una reacción de combustión y por lo tanto no se genera ningún tipo de emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

<sup>2</sup> "The NSSS serves the same function as the steam boiler in a conventional fossil-fuel plant." (Lamarsh, 1983)

### 1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUCLEAR

---

- Según un estudio interdisciplinar realizado en 2003 por profesores del Massachusetts Institute of Technology (MIT): “En mercados no regulados, la energía nuclear no puede competir en costes con el carbón y el gas natural”<sup>3</sup>. Esto se debe a la inversión que supone la construcción de la planta y los altos costes de operación, mantenimiento y disposición de residuos frente al coste de centrales térmicas que utilizan como materia prima combustibles fósiles. Sin embargo, la brecha económica se ha visto reducida en la última década debido principalmente al encarecimiento de los combustibles fósiles y a la mejora de la tecnología nuclear.
- La disposición de minas de uranio en el territorio nacional disminuye el coste del capital circulante.
- La energía nuclear se presenta como uno de las únicas opciones reales para reducir las emisiones de dióxido de carbono, sin embargo la ausencia de un método efectivo a largo plazo para la disposición y el tratado de los residuos nucleares sigue siendo el mayor problema de estas centrales, lo que reduce la posibilidad de la producción de energía eléctrica a través de este proceso por encima de un límite (Ansolabehere, et al., 2003).
- El equipo principal, el reactor nuclear, tiene un diseño muy complejo debido a las dificultades que las elevadísimas temperaturas y presiones de operación suponen para el control de proceso (Lamarsh, 1983).

La central termoeléctrica nuclear no se considera como tecnología, ya que el sistema eléctrico español ya no facilita la construcción de estas plantas debido a que las que existen funcionan en base y tienen presentan el gran problema del coste de la disposición de residuos nucleares.

---

<sup>3</sup> “In deregulated markets, nuclear power is not now cost competitive with coal and natural gas.” (Ansolabehere, et al., 2003).

---

## 1.4 COMPARACIÓN DE PROCESOS Y SELECCIÓN

---

### 1.4.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIA PRIMA

---

La materia prima que se requiere comprar es el combustible fósil que se va a combustionar. El precio y las características de éste determinarán el tipo de proceso y las instalaciones de la central. En determinadas tecnologías se requiere un volumen reducido de combustible fósil para encender la llama y empezar a operar, teniendo un coste mucho menor en comparación con el combustible principal.

- Carbón: Combustible fósil sólido compuesto por carbono mayoritariamente y por otros elementos en menos cantidad cuyo porcentaje en la roca varían dependiendo de la localización donde se extraiga. Históricamente ha sido la principal materia prima utilizada en las centrales térmicas europeas debido a la existencia de extensas reservas de carbón. Sin embargo, desde principios de siglo el impacto ambiental generado por las altas cantidades de dióxido de carbono liberadas a la atmósfera al combustionar carbón ha disminuido su utilización como materia prima.
- Fuel-oil: Hidrocarburos líquidos como pueden ser la gasolina o el queroseno, obtenido de la destilación fraccionada del crudo de petróleo en refinerías. Las fracciones más ligeras o de mayor volatilidad se utilizan para combustibles de máquinas o de medios de transporte como el avión o el automóvil, mientras que las fracciones pesadas se reservan para utilizarse como combustible en la industria.

Los hidrocarburos líquidos son una fuente de energía excelente, fáciles de manipular, almacenar y de quemar, sin embargo se trata de una materia prima que ha visto encarecido su precio fuertemente en la última década y cuyos suministro se ven rodeados de incertidumbre debido a la inestabilidad de las naciones productoras. España carece de reservas.

- Hidrocarburos gaseosos: Obtenidos de las reservas de gas natural o producido en la industria química. El hidrocarburo gaseoso utilizado principalmente en las centrales térmicas es el gas natural, que es una combinación de hidrocarburos ligeros, constituido mayoritariamente por metano. No necesita ningún tipo de almacenamiento ya que se transporta por oleoducto directo a la panta y genera menos cantidad de dióxido de carbono al combustionar que el resto de combustibles fósiles.

Una central térmica tiene un periodo de vida medio de al menos 20 años, siendo común que la planta se diseñe para trabajar en continuo durante más de 25 años. Teniendo en cuenta que para ser viable económicamente se ha de diseñar para una alta producción energética, la proyección del precio del combustible y la disponibilidad de reservas serán algunos de los factores de mayor peso a la hora de elegir el proceso.

El carbón es la materia prima que ofrece mayor ventaja en estos dos aspectos, como se muestra en el estudio de las reservas y del precio de combustible fósil realizado en el Anexo de Estudio de Mercado. Dispone de un ratio de reservas-producción en 2014 de 252 años frente a los aproximadamente 55 años de tanto gas natural como petróleo. Además el precio del gas natural en 2013 se situaba en casi 3.5 veces más caro que el precio de compra de carbón en dólares por millón de unidad térmica británica.

Sin embargo, el carbón presenta severas desventajas en aspectos referentes al impacto medioambiental del proceso y a su eficiencia.

#### **1.4.2 PROCESO**

---

La central térmica a construir será de ciclo convencional. A pesar de que en el ciclo combinado se alcanza un mayor rendimiento y es menos contaminante, se considera que el proceso de ciclo convencional es el más adecuado debido a:

- **Materia prima:** Actualmente existe una diferencia decisiva entre el precio del carbón frente al alto precio del gas natural. España cuenta con reservas nacionales de carbón, mientras que el gas natural ha de ser importado. A esto se añade que las previsiones esperan una caída constante de la oferta de gas natural debido al agotamiento de las reservas mundiales y por tanto se prevé un incremento del precio.
- **Tecnología conocida y fiable:** Se trata de un proceso muy usado y cuenta con numerosos estudios que permiten maximizar el funcionamiento de la planta.
- **Posibilidad de minimizar las emisiones:** Si bien el uso del carbón tiene un impacto medioambiental muy negativo, cabe la posibilidad de instalar sistemas de captura de gases contaminantes. Además, existen diversas tecnologías en proceso de investigación que permitirán contribuir a la limpieza de la atmósfera una vez estén desarrolladas, como la oxidación o el almacenamiento bajo tierra del dióxido de carbono.

Dentro del proceso de ciclo convencional, se selecciona la tecnología de combustión de carbón pulverizado debido a tres razones principales:

- Versatilidad de la caldera: El equipo de combustión está preparado para quemar junto con el carbón otras materias primas de menor precio como pueden ser los lodos residuales provenientes de EDAR.
- Conocimiento del rendimiento: De cara al mantenimiento se dispone de datos y estudios que permiten minimizar las pérdidas de eficiencia de la planta a lo largo del tiempo.
- Subproducto: Ya que se usa carbón como materia prima, se selecciona la tecnología que más facilita la obtención del subproducto de la combustión para su venta.



---

## 1.5 BIBLIOGRAFÍA

---

**Ansolabehere, S., y otros.** 2003. *The Future of Nuclear Power*. s.l. : Massachusetts Institute of Technology, p. 1-3, 10. ISBN 0-615-12420-8.

**Departamento Técnico de Putzmeister AG.** 2004. *Combustión de lodos residuales de EDAR en centrales térmicas de carbón.* Barcelona : Reed Business, Tecnología del Agua, v. 245, p. 72-75. ISSN 0211/8173.

**Foster Wheeler.** 2010. XVIII Calderas, sobrecalentadores y recalentadores. *Scribd*. [En línea][Consultado: 24 de marzo de 2015.] <http://www.scribd.com/doc/26681206/18-Calderas#scribd>.

**Silva, F. P.** 1993. *Generadores de vapor: Mantenimiento periódico.* Oviedo : Universidad de Oviedo, Generadores y motores térmicos, v. 544, p. 16-20. ISBN 84-88034-36-9.

**Gilchrist, D. J.** 1969. *Furnaces*. Madrid. Editorial Alhambra.

**Lamarsh, J. R.** 1983. *Introduction to Nuclear Engineering*. 2<sup>nd</sup> ed. Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company. ISBN 0-201-14200-7.

**Moran, M. J. y Shapiro, H. N.** 2012. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. 2<sup>a</sup> ed. Barcelona : Reverté. ISBN 84-291-4313-0.

**Rahim, K. J.** 2010. Power Plant Engineering and Economy. *Yanbu Industrial College*. [En línea] 2010. [Consultado: 20 de marzo de 2015.] <http://www.yic.edu.sa/staff/?q=rkjassim/node/535>.

**Rizhkin, V. Y.** 1980. *Centrales Termoeléctricas*. [trad.] Luis Rodríguez.. Moscú : Mir Moscú.

**Severns, W. H., Degler, H. E. y Miles, J. C.** 1982. *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. [trad.] José Batlle Gayán. 5<sup>a</sup> ed. Barcelona : Editorial Reverté. ISBN 84-291-4890-6.

**World Coal Association.** 2012. Coal & Electricity. *WordCoal*. [En línea] International Energy Agency.. [Consultado: 29 de marzo de 2015.] <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/coal-electricity/>.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 2:  
MATERIA PRIMA



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>2</b>	<b>MATERIA PRIMA</b> .....	<b>2-1</b>
<b>2.1</b>	<b>COMBUSTIBLE: CARBÓN</b> .....	<b>2-1</b>
2.1.1	<b>PROPIEDADES DEL CARBÓN DE DISEÑO</b> .....	2-2
<b>2.2</b>	<b>COMBURENTE: AIRE</b> .....	<b>2-3</b>
<b>2.3</b>	<b>AGUA</b> .....	<b>2-4</b>
<b>2.4</b>	<b>GAS DE COMBUSTIÓN</b> .....	<b>2-4</b>
<b>2.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>2-5</b>

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2-I Datos de análisis en laboratorio de carbón empleado como combustible en central térmica y precio medio en Abril de 2015.....	2-2
Tabla 2-II Composición y poder calorífico del carbón de diseño .....	2-3
Tabla 2-III Composición del comburente a 11 °C .....	2-3
Tabla 2-IV Coeficientes del polinomio de especies presentes en el gas de combustión para el cálculo de la capacidad calorífica.....	2-4

---

---

---

## 2 MATERIA PRIMA

---

---

---

### 2.1 COMBUSTIBLE: CARBÓN

---

El carbón es una roca sedimentaria formada debido a procesos geológicos a lo largo de millones de años y es la materia prima que se va a utilizar como combustible en la central térmica. Está formado por carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno principalmente.

La proporción de estos elementos en la roca y sus propiedades no son fijas, ya que varían dependiendo del yacimiento de donde se extraiga. Es por esta razón que en la central térmica se requiere un análisis de las propiedades y calidad del carbón que llega cada día. Las reservas y disponibilidad de este combustible fósil se analizan en el anexo de Estudio de Mercado.

El combustible empleado de la central será un mix formado por un 50% de carbón extraído en España de tipo hulla, y un 50% de carbón de importación, tipo antracita.

- Carbón bituminoso y sub-bituminoso: El carbón obtenido en las minas en territorio nacional será de ambos tipos, aunque mayoritariamente sub-bituminoso. Tiene un color negro y una densidad relativa baja. Este carbón podrá clasificarse como hulla que es un tipo de carbón bituminoso. De media se extrae de las minas de carbón un producto de intermedia calidad con un poder calorífico superior de entre 20,000-25,000 kJ/kg. Además presenta un bajo contenido en azufre. Esto lo hace muy indicado para reducir las emisiones de óxidos de azufre contaminantes. El contenido de volátiles de este carbón es menor que el contenido medio presente en la hulla corriente. La mayor desventaja es la alta proporción de inertes en la roca.
- Antracita: Carbón de alta calidad que presenta un alto contenido en carbono y elevado poder calorífico superior, de entre 25,000-30,000 kJ/kg. Es una roca negra, densa y de gran dureza que desprende un brillo metálico. El contenido en volátiles de la antracita que se va a importar es superior al usual. Presenta un bajo contenido en azufre y en inertes. Su mayor desventaja es la dificultad respecto al carbón sub-bituminoso para que arda.

En la Tabla 2-I se muestran los datos obtenidos para un análisis de carbón combustionado en una central, tanto de carbón extraído en territorio nacional, como de carbón importado, junto a los respectivos precios de compra. Los resultados del análisis se expresan en base seca para diferenciar el oxígeno e hidrogeno que no están en forma de humedad (agua) y por tanto son susceptibles de reaccionar.

	<b>%W</b>	<b>Hulla</b>	<b>Antracita</b>
	Humedad	10.57	11.12
	Volátiles	4.67	13.73
	Cenizas	30.87	17.43
<b>sobre seco s/s</b>	Carbono	64.48	72.63
	Hidrógeno	1.16	3.17
	Nitrógeno	0.71	1.71
	Azufre	0.74	0.76
	Oxígeno	2.05	4.31
	<b>PCS (kJ/kg)</b>	22832	28359
	<b>PCI (kJ/kg)</b>	19941	24334
	<b>Precio (c€/Termia)</b>	1.8	1.29

*Tabla 2-I Datos de análisis en laboratorio de carbón empleado como combustible en central térmica y precio medio en Abril de 2015 (Merino García, 2015)*

### **2.1.1 PROPIEDADES DEL CARBÓN DE DISEÑO**

Ya que las propiedades del carbón no son homogéneas y dependen del yacimiento, se fija un carbón de diseño para trabajar en la proyección de la central térmica. Esta consideración requerirá de un cierto sobre-diseño en algunas partes de la central para asegurar el correcto funcionamiento de ésta durante la combustión de diversos tipos de roca.

El carbón de diseño presenta unas propiedades de composición y poder calorífico superior e inferior intermedias ente hulla y antracita. Para realizar este cálculo se considera que tanto el carbón nacional como el carbón de importación están compuestos por los mismos elementos químicos exceptuando las cenizas, que se tratan como inertes cuya composición será variable dentro de unos límites. La composición y propiedades del carbón de diseño se muestran en la Tabla 2-II.

%W	
<i>Carbón de diseño</i>	
<i>Humedad</i>	10.81
<i>Cenizas</i>	21.54
<i>Carbono</i>	61.14
<i>Hidrógeno</i>	1.93
<i>Nitrógeno</i>	1.08
<i>Azufre</i>	0.67
<i>Oxígeno</i>	2.84
<i>Total</i>	100
<i>PCS (kJ/kg)</i>	25596
<i>PCI (kJ/kg)</i>	22138

Tabla 2-II Composición y poder calorífico del carbón de diseño

---

## 2.2 COMBURENTE: AIRE

---

El oxígeno requerido para la reacción de combustión se obtiene de aire atmosférico. Debido a que las condiciones y propiedades de aire en la atmósfera no son homogéneas, se emplea la consideración (Perry, y otros, 2008) de que el aire usado como comburente durante el proceso es aire técnico simplificado (ATS) con un 60% de humedad relativa media anual y 11°C de temperatura. Estos datos provienen de la sección de clima del Anexo de Localización. Sus propiedades se muestran en la Tabla 2-III.

%n ATS	
$O_2$	20.82
$N_2$	78.33
$H_2O$	0.84
<i>Total</i>	100

Tabla 2-III Composición del comburente a 11 °C

En la sección del gas de combustión (Tabla 2-IV) se proporcionan los coeficientes utilizados para calcular la capacidad calorífica para el nitrógeno y el oxígeno.



---

## 2.3 AGUA

---

Es el fluido de trabajo empleado en el ciclo de potencia y por tanto un de los componentes principales del sistema de generación eléctrica.

Las magnitudes que definen el estado del fluido se obtienen de dos referencias:

- Fundamentos de Termodinámica Técnica (Moran, y otros, 2012)
- “*NIST Chemistry WebBook*”: Herramienta desarrollada por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2011).

---

## 2.4 GAS DE COMBUSTIÓN

---

Tras el análisis realizado en el anexo de ingeniería de proceso, el gas de combustión se considera formado por dióxido de carbono, monóxido de carbono vapor de agua, dióxido de azufre, monóxido de nitrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Para calcular la capacidad calorífica del GC se considera gas ideal para calcular y se utiliza el polinomio E 2:1 (Poling, y otros, 2001).

$$\frac{C_p}{R} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 \quad E\ 2:1$$

Los coeficientes del polinomio se resumen en la Tabla 2-IV:

	$a_0$	$a_1 \cdot 10^3$	$a_2 \cdot 10^5$	$a_3 \cdot 10^8$	$a_4 \cdot 10^{11}$
CO <sub>2</sub>	3.259	1.356	1.502	-2.374	1.056
CO	3.912	-3.913	1.182	-1.302	0.515
H <sub>2</sub> O	4.395	-4.186	1.405	-1.564	0.632
SO <sub>2</sub>	4.417	-2.234	2.334	-3.271	1.393
NO	4.534	-7.644	2.066	-2.156	0.806
O	3.63	-1.794	0.658	-0.601	0.179
N	3.539	-0.261	0.007	0.157	-0.099

Tabla 2-IV Coeficientes del polinomio de especies presentes en el gas de combustión para el cálculo de la capacidad calorífica (Poling, y otros, 2001)

---

## 2.5 BIBLIOGRAFÍA

---

**Merino García, A.** 2015. Servicio de Laboratorio, Endesa Generación S.A. Responsable de operación en UPT Compostilla. Cubillos de Sil (León, España) : *Comunicación personal*, Abril de 2015.

**Moran, M. J. y Shapiro, H. N.** 2012. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. 2ª ed. Barcelona : Reverté. ISBN 84-291-4313-0.

**National Institute of Standards and Technology. NIST.** 2011. Thermophysical Properties of Fluid Systems. *NIST Chemistry WebBook*. [En línea] National Institute of Standards and Technology, <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>.

**Perry, R. H. y Green, D. W.** 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8ª ed. Madrid : McGraw-Hill. ISBN 0071511253.

**Poling, B. E. y O'Connell, J. P.** 2001. *The Properties of Gases and Liquids*. 5<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill. ISBN 0070116822.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 3:  
ESTUDIO DE MERCADO



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>3</b>	<b>ESTUDIO DE MERCADO .....</b>	<b>3-1</b>
<b>3.1</b>	<b>SITUACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL.....</b>	<b>3-1</b>
<b>3.2</b>	<b>INTERCAMBIO ELÉCTRICO INTERNACIONAL .....</b>	<b>3-3</b>
<b>3.3</b>	<b>ESTUDIO DE LAS RESERVAS Y DEL PRECIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....</b>	<b>3-4</b>
3.3.1	CARBÓN.....	3-4
3.3.2	FUEL-OIL.....	3-5
3.3.3	GAS NATURAL.....	3-6
<b>3.4</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA FUTURA .....</b>	<b>3-9</b>
3.4.1	PROYECCIÓN DE LA TENDENCIA FUTURA .....	3-10
3.4.2	MÉTODO ECONOMÉTRICO.....	3-11
<b>3.5</b>	<b>RESULTADO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3-14</b>
<b>3.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>3-15</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-I Grafico circular de potencia instalada nacional en porcentaje .....	3-1
Figura 3-II Intercambios de electricidad con los principales países exportadores e importadores entre 2009 y 2013.....	3-3
Figura 3-III Ratios de reservas-producción de carbón por continente y año. Traducido del inglés. ....	3-4
Figura 3-IV Ratios de reservas-producción de fuel-oil por continente y año. Traducido del inglés. ....	3-5
Figura 3-V Ratios de reservas-producción de gas natural por continente y año. Traducido del inglés. ....	3-7
Figura 3-VI Evolución de precios del gas natural en Dólar por millón de BTU. Traducido del inglés. ....	3-7
Figura 3-VII Representación de los datos de evolución de demanda eléctrica y ajuste lineal .....	3-10
Figura 3-VIII Variación porcentual del PIB entre 2005 y 2014 en comparación con el crecimiento de la Eurozona (UEM-18) y el de la Unión Europea (UE-28) .	3-13
Figura 3-IX Representación del PIB a partir de 1993 y ajuste lineal para los datos a partir de 2005 .....	3-13
Figura 3-X Datos desde 1998 y ajuste lineal.....	3-14

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-I Potencia instalada nacional actualizada en 20/04/2015.....	3-2
Tabla 3-II Precios de carbón en dólar por tonelada métrica en diferentes países desde 1993 hasta 2013. Traducido del inglés.....	3-5
Tabla 3-III Precios de crudo en dólares por barril. Traducido del inglés.....	3-6
Tabla 3-IV Precios del gas natural en diferentes países desde 1984 hasta 2013. Traducido del inglés. ....	3-8
Tabla 3-V Lista de factores de conversión caloríficos. Traducido del inglés. ...	3-8
Tabla 3-VI Evolución de la demanda eléctrica desde 1998 hasta 2014 .....	3-10
Tabla 3-VII Evolución del PIB desde 1993 hasta 2014 .....	3-12

## 3 ESTUDIO DE MERCADO

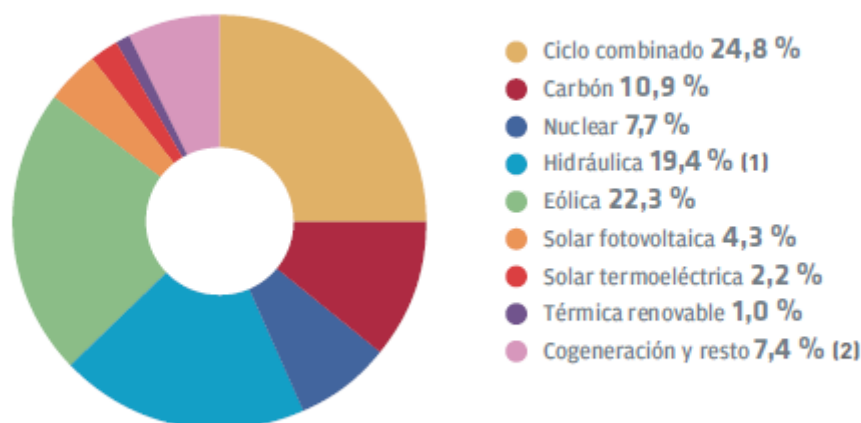
### 3.1 SITUACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL

La energía eléctrica ni es aprovechable directamente de la naturaleza ni es almacenable en grandes cantidades. Esto marca el comportamiento del mercado eléctrico, donde las centrales generadoras han de producir en cada instante tanta electricidad cómo se esté consumiendo. El mayor peso en el mercado eléctrico nacional lo tienen las energías eólica e hidráulica junto con las centrales térmicas de ciclo convencional, combinado y nuclear.

La comparación de la importancia de los diferentes métodos de generación se realiza en términos de potencia instalada. Éste término hace referencia a la máxima capacidad de generación eléctrica que tiene un sistema.

En la Figura 3-1 se visualiza que las centrales térmicas de ciclo convencional que emplean carbón representan un 11% de los megavatios totales generados en la península ibérica.

#### POTENCIA INSTALADA A 31.12.2013. SISTEMA ELÉCTRICO PENINSULAR



(1) Incluye la potencia de bombeo puro (2.747 MW). (2) Incluye térmica no renovable y fuel/gas.

Figura 3-1 Gráfico circular de potencia instalada nacional en porcentaje (Red Eléctrica de España, 2013)

Los datos de potencia instalada divididos en categorías incluyendo territorios no peninsulares desde el año 2010 hasta Abril de 2015 se muestran en la Tabla 3-I, donde el dato de potencia instalada para 2015 se sitúa en casi 108,000 MW.

Es importante especificar que si bien se tiene un valor elevado de potencia instalada en territorio nacional, no todas las plantas de generación eléctrica trabajan en continuo, sino que existe un régimen de funcionamiento de energías renovables y energía nuclear en base. Gran parte de las centrales térmicas trabajan en continuo con el objetivo de llegar a cubrir la totalidad de la demanda de electricidad, exceptuando aquellas centrales diseñadas a operar en régimen discontinuo. La función de estas centrales es liberar electricidad a la red solamente durante periodos de alto crecimiento de la demanda o cuando se dan caídas de la productividad de la energía eólica.



### Potencia instalada nacional (MW)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Hidráulica convencional y mixta	14,818	14,825	15,040	15,039	15,046	15,046
Bombeo puro	2,747	2,747	2,747	2,747	2,747	2,747
Hidráulica	17,565	17,572	17,786	17,786	17,792	17,792
Nuclear	7,790	7,866	7,866	7,866	7,866	7,866
Carbón	11,918	12,158	11,624	11,641	11,482	11,482
Fuel + Gas	5,145	3,717	3,429	3,305	3,305	3,300
Ciclo combinado	27,146	27,171	27,206	27,206	27,206	27,206
Hidroeólica	-	-	-	-	12	12
Resto hidráulica	2,037	2,042	2,043	2,106	2,106	2,106
Eólica	19,715	21,175	22,766	23,002	23,002	23,002
Solar fotovoltaica	3,838	4,259	4,560	4,667	4,672	4,672
Solar térmica	532	999	1,950	2,300	2,300	2,300
Térmica renovable	821	887	975	980	1,018	1,018
Térmica no renovable/Cogeneración y resto	7,240	7,318	7,281	7,200	7,196	7,196
<b>Total</b>	<b>103,749</b>	<b>105,165</b>	<b>107,486</b>	<b>108,060</b>	<b>107,957</b>	<b>107,952</b>

Tabla 3-I Potencia instalada nacional actualizada en 20/04/2015 (Red Eléctrica de España, 2013)

La potencia nacional instalada cae en el año 2013 debido al cierre realizado en Junio de ese año de la central nuclear Sta. María Garoña con localización en Burgos, funcionando en base desde 1971 (Secretaría de Estado de Energía, 2015).



### 3.2 INTERCAMBIO ELÉCTRICO INTERNACIONAL

Actualmente España mantiene intercambios de energía eléctrica con Francia, Portugal, Marruecos y Andorra. En las horas en las que se tiene un déficit de generación, se importa energía de Francia mediante líneas de alta tensión. La energía eléctrica que no se consume se exporta principalmente a Portugal y Marruecos, manteniendo anualmente un saldo exportador tal y como aparece en Figura 3-II

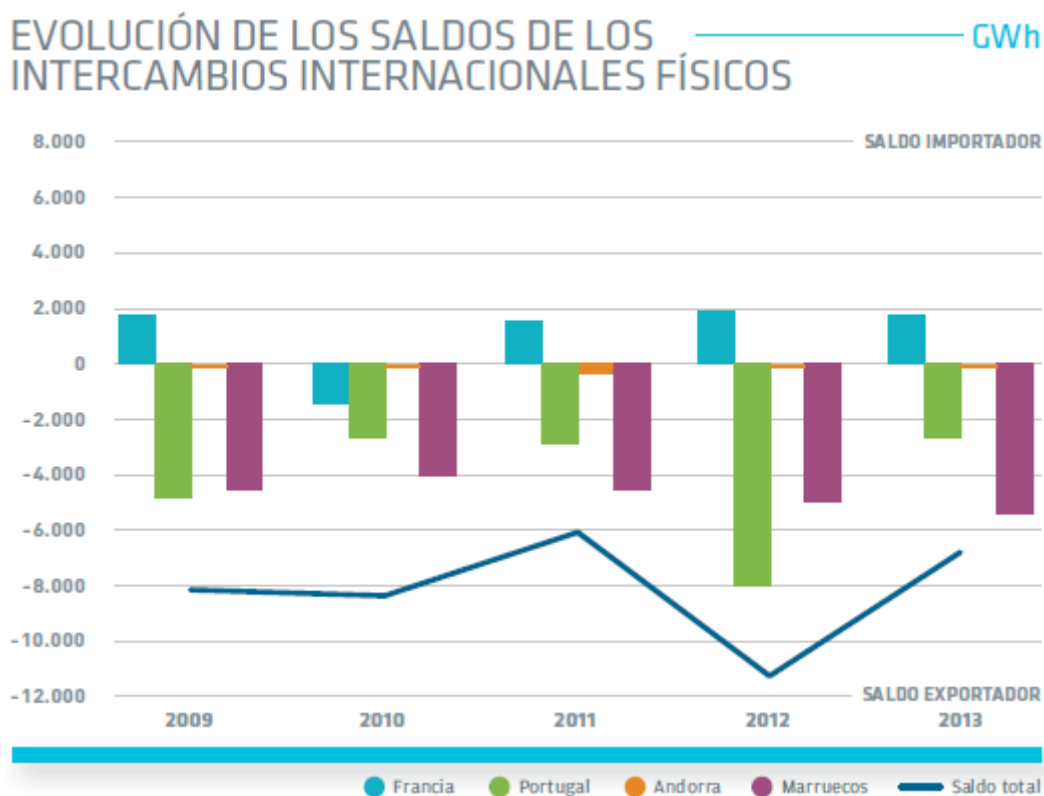


Figura 3-II Intercambios de electricidad con los principales países exportadores e importadores entre 2009 y 2013 (Red Eléctrica de España, 2013)

### 3.3 ESTUDIO DE LAS RESERVAS Y DEL PRECIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

El estudio del mercado y disponibilidad de los posibles combustibles fósiles que se pueden emplear para la generación de energía eléctrica en una central térmica se realiza para estimar la disponibilidad de la materia prima en el futuro y la evolución de su precio.

Este estudio, como se ha especificado anteriormente, complementa el anexo de selección de proceso al ser las características de la materia prima un factor determinante en la generación de electricidad y a su vez limitar las tecnologías que se pueden emplear en la planta.

#### 3.3.1 CARBÓN

Según las estadísticas BP mostradas en la Figura 3-III, Europa y Asia juntos en 2013 contaban con el mayor ratio de reserva-producción anual, disponiendo así con 254 años a partir de 2014 de reserva probada de carbón al ritmo actual de consumo internacional.

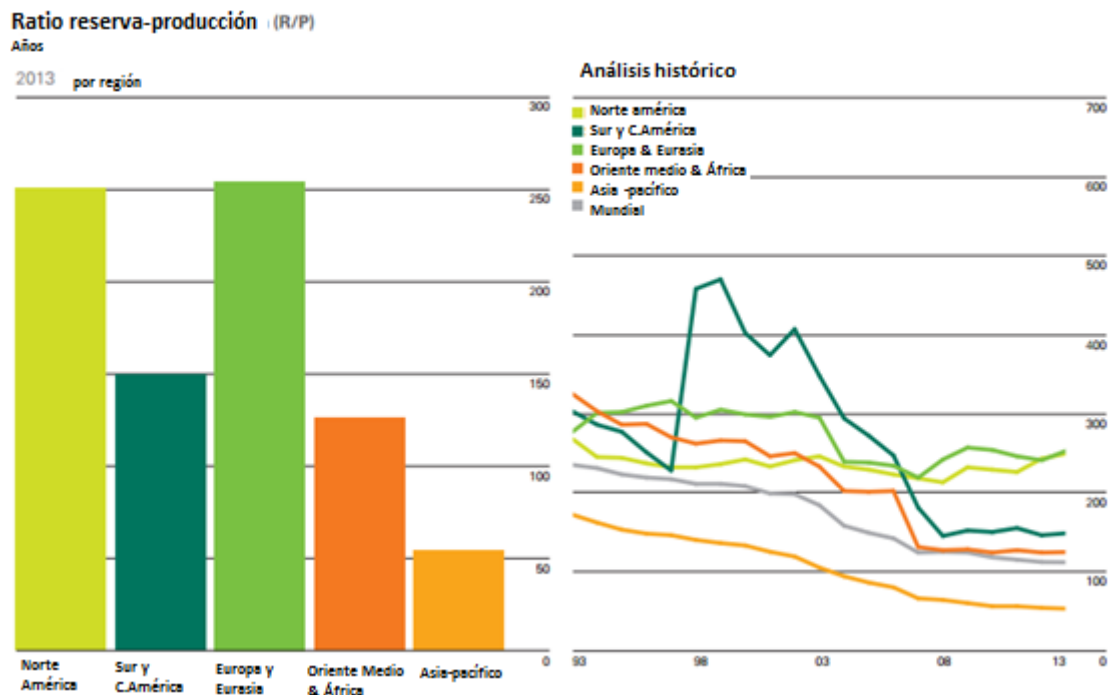


Figura 3-III Ratios de reservas-producción de carbón por continente y año (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

La evolución de los precios de venta de carbón para los principales países importadores hasta el año 2013 se presenta en la Tabla 3-II.

Precios			
\$ americano/tonelada	Noroeste de Europa Precio de mercado	EE.UU. Precio de mercado	Japón Precio de importación cif
1993	33.68	29.85	55.26
1994	37.18	31.72	51.77
1995	44.50	27.01	54.47
1996	41.25	29.86	56.68
1997	38.92	29.76	55.51
1998	32.00	31.00	50.76
1999	28.79	31.29	42.83
2000	35.99	29.90	39.69
2001	39.03	50.15	41.33
2002	31.65	33.20	42.01
2003	43.60	38.52	41.57
2004	72.08	64.90	60.96
2005	60.54	70.12	89.33
2006	64.11	62.96	93.46
2007	88.79	51.16	88.24
2008	147.67	118.79	179.03
2009	70.66	68.08	167.82
2010	92.50	71.63	158.95
2011	121.52	87.38	229.12
2012	92.50	72.06	191.46
2013	81.69	71.39	140.45

Tabla 3-II Precios de carbón en dólar por tonelada métrica en diferentes países desde 1993 hasta 2013 (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

### 3.3.2 FUEL-OIL

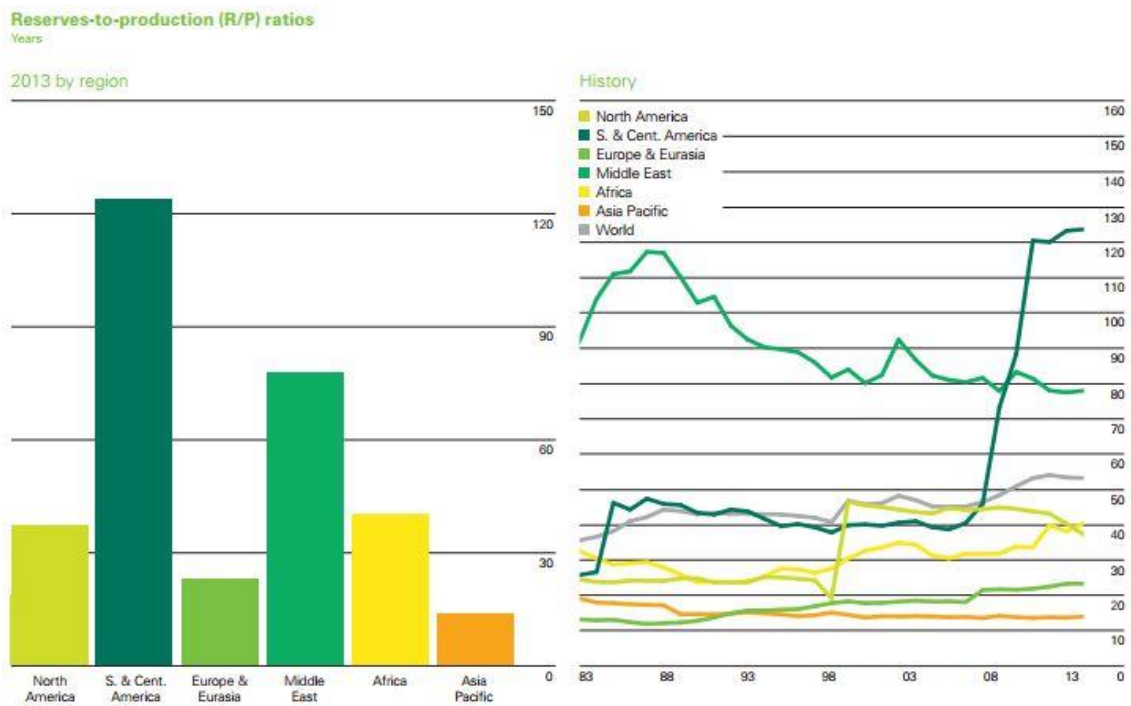


Figura 3-IV Ratios de reservas-producción de fuel-oil por continente y año (British Petroleum, 2014).

Los datos mostrados en Figura 3-IV reflejan un ratio global de reservas-producción muy inferior al que se obtiene para el carbón. En la Tabla 3-III se expone la variación de precio de barril de crudo hasta el año 2013.

**Precios de crudo**

\$ americano/barril	Dubai \$/bbl	Crudo brent \$/bbl	Nigeria: forcados \$/bbl
1976	11.63	12.80	12.87
1977	12.38	13.92	14.21
1978	13.03	14.02	13.65
1979	29.75	31.61	29.25
1980	35.69	36.83	36.98
1981	34.32	35.93	36.18
1982	31.80	32.97	33.29
1983	28.78	29.55	29.54
1984	28.06	28.78	28.14
1985	27.53	27.56	27.75
1986	13.10	14.43	14.46
1987	16.95	18.44	18.39
1988	13.27	14.92	15.00
1989	15.62	18.23	18.30
1990	20.45	23.73	23.85
1991	16.63	20.00	20.11
1992	17.17	19.32	19.61
1993	14.93	16.97	17.41
1994	14.74	15.82	16.25
1995	16.10	17.02	17.26
1996	18.52	20.67	21.16
1997	18.23	19.09	19.33
1998	12.21	12.72	12.62
1999	17.25	17.97	18.00
2000	26.20	28.50	28.42
2001	22.81	24.44	24.23
2002	23.74	25.02	25.04
2003	26.78	28.83	28.66
2004	33.64	38.27	38.13
2005	49.35	54.52	55.69
2006	61.50	65.14	67.07
2007	68.19	72.39	74.48
2008	94.34	97.26	101.43
2009	61.39	61.67	63.35
2010	78.06	79.50	81.05
2011	106.18	111.26	113.65
2012	109.08	111.67	114.21
2013	105.47	108.66	111.95

Tabla 3-III Precios de crudo en dólares por barril (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

### 3.3.3 GAS NATURAL

Acorde con la Figura 3-V, en el año 2013 el ratio de reservas-producción se sitúa en 55.1 años. Esta cifra representa los años que tardaran en agotarse las reservas mundiales de gas natural al ritmo de consumo actual.

El incremento del precio de este combustible fósil en los últimos años se refleja en la Figura 3-VI y Tabla 3-IV.

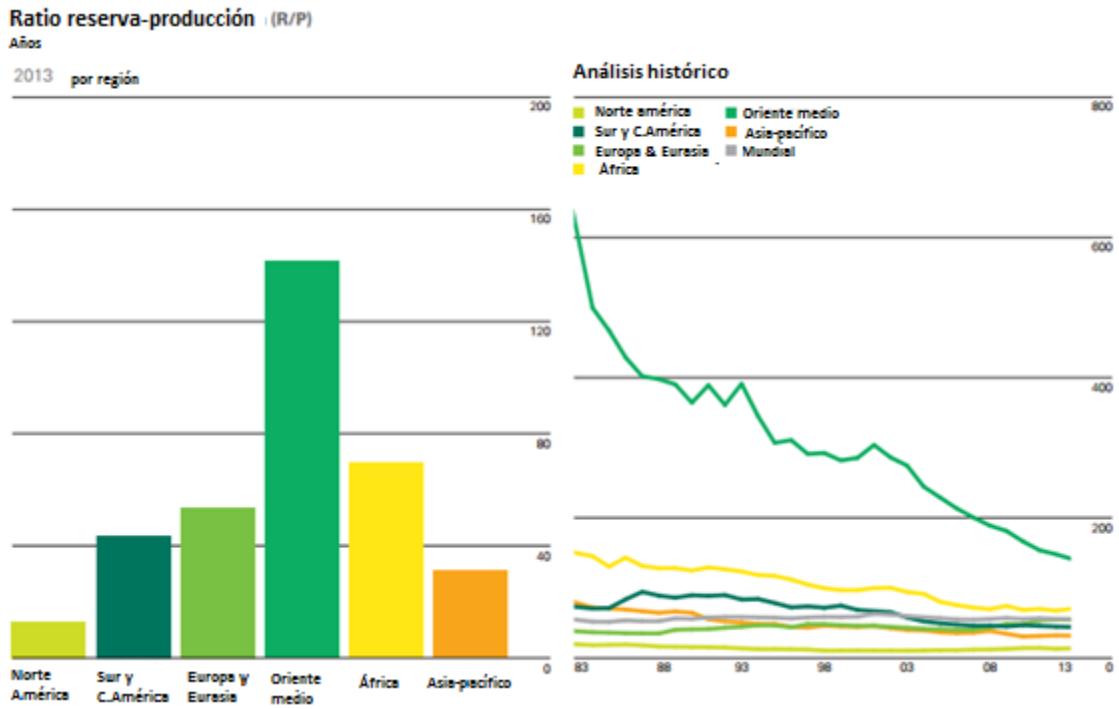


Figura 3-V Ratios de reservas-producción de gas natural por continente y año (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

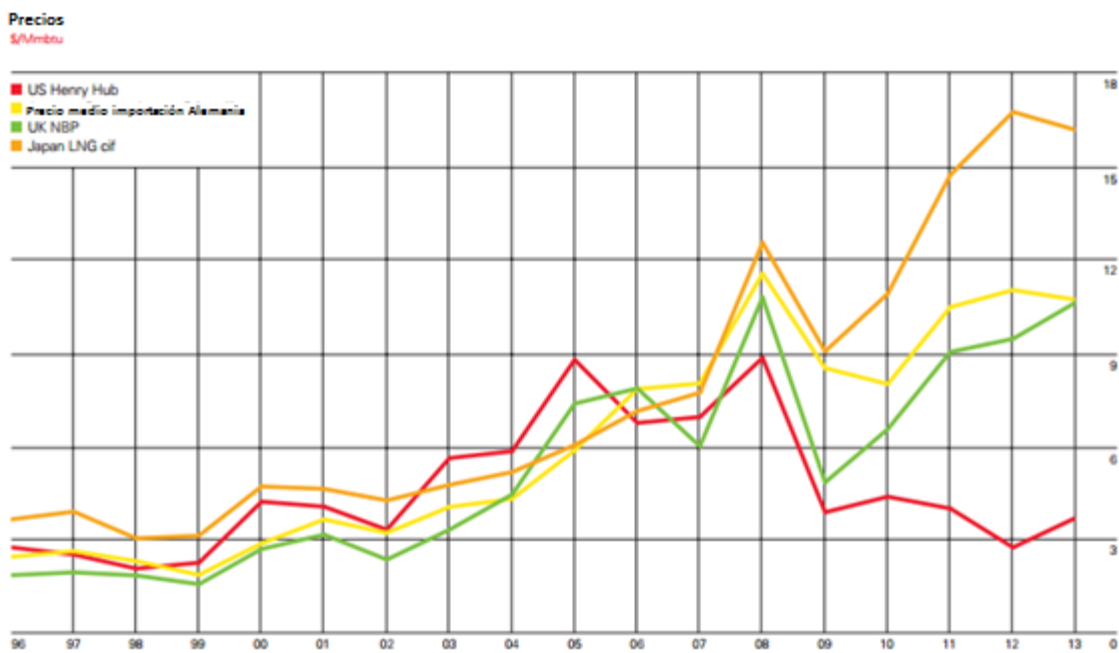


Figura 3-VI Evolución de precios del gas natural en Dólar por millón de BTU (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

Precios					
S americano/millon de BTU	LNG Japón cif	Gas natural			
		Precio medio Alemán de importación	Reino Unido (Heren NBP Index)	EE.UU Henry Hub	Canada (Alberta)†
1984	5.10	4.00	-	-	-
1985	5.23	4.25	-	-	-
1986	4.10	3.93	-	-	-
1987	3.35	2.55	-	-	-
1988	3.34	2.22	-	-	-
1989	3.28	2.00	-	1.70	-
1990	3.64	2.78	-	1.64	1.05
1991	3.99	3.19	-	1.49	0.89
1992	3.62	2.69	-	1.77	0.98
1993	3.52	2.50	-	2.12	1.69
1994	3.18	2.35	-	1.92	1.45
1995	3.46	2.39	-	1.69	0.89
1996	3.66	2.46	1.87	2.76	1.12
1997	3.91	2.64	1.96	2.53	1.36
1998	3.05	2.32	1.86	2.08	1.42
1999	3.14	1.88	1.58	2.27	2.00
2000	4.72	2.89	2.71	4.23	3.75
2001	4.64	3.66	3.17	4.07	3.61
2002	4.27	3.23	2.37	3.33	2.57
2003	4.77	4.06	3.33	5.63	4.83
2004	5.18	4.32	4.46	5.85	5.03
2005	6.05	5.88	7.38	8.79	7.25
2006	7.14	7.85	7.87	6.76	5.83
2007	7.73	8.03	6.01	6.95	6.17
2008	12.55	11.56	10.79	8.85	7.99
2009	9.06	8.52	4.85	3.89	3.38
2010	10.91	8.01	6.56	4.39	3.69
2011	14.73	10.48	9.04	4.01	3.47
2012	16.75	11.03	9.46	2.76	2.27
2013	16.17	10.72	10.63	3.71	2.93

Tabla 3-IV Precios del gas natural en diferentes países desde 1984 hasta 2013 (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

Con estos datos referentes a la disponibilidad de combustibles fósiles en el año 2013 se pueden comparar los precios de compra de materia prima. Para una estimación de la diferencia de estos precios se emplean en la comparación, por motivos de cercanía geográfica al territorio nacional, datos de gas natural importado de países del Oeste de Europa y datos de carbón proveniente del noroeste de Europa (81.69 \$/tm) mostrados en Tabla 3-II y Tabla 3-IV.

Equivalencias caloríficas	
Una tonelada de petróleo equivale aproximadamente a:	
Energía térmica	10 millones kcal
	40 gigajulios
	40 millones BTU
Combustibles sólidos	1.5 toneladas de carbón denso
	3 toneladas de lignito
Electricidad	12 MW hora

Tabla 3-V Lista de factores de conversión caloríficos (British Petroleum, 2014). Traducido del inglés.

Para la comparación del precio de las materias primas se necesita trabajar en condiciones de homogeneidad de unidades. La unidad seleccionada para el análisis es el dólar por millón de unidad térmica británica.

Aplicando la conversión de unidades mostrada en la Tabla 3-V se obtiene un precio de carbón denso de 3.06 \$/mmBtu que es muy inferior al precio del gas natural proveniente de Reino Unido (10.63 \$/mmBtu) o de Alemania (10.72 \$/mmBtu), tal y como se muestra a continuación:

$$81.69 \text{ \$/tm}_{\text{carbón}} \cdot \frac{1.5 \text{ tm}_{\text{carbón}}}{1 \text{ tm}_{\text{petróleo}}} \cdot \frac{1 \text{ tm}_{\text{petróleo}}}{40 \text{ mm BTU}} = 3.06 \text{ \$/mmBTU}$$

---

### 3.4 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA FUTURA

---

Mediante dos técnicas se realiza una estimación de la demanda eléctrica nacional en los próximos años para poder obtener un valor de capacidad máxima de generación eléctrica de la central.

Estas técnicas presentan un cierto grado de error en la predicción. Si este error se manifiesta en un valor muy elevado de demanda eléctrica con respecto al valor real y no corregimos este dato, se genera un riesgo elevado de realizar un diseño para la producción de una cantidad de electricidad que a la larga resulte innecesaria. Por ello el error se corrige planteando una reducción del 40% del resultado de demanda estimada para ambas técnicas. De esta manera se obtiene un valor conservador que asegura que la central no va a producir electricidad en ausencia de demanda.

El estudio se realiza considerando un periodo de tiempo de 25 años de operación de la central térmica. Se trata de un valor conservador ya que, tal y como se refleja en el anexo de selección de proceso, dado que la central térmica emplea una tecnología muy estudiada y probada cabe la opción de ampliar el periodo de funcionamiento durante más de 25 años con un mantenimiento y condiciones de operación adecuados.

Como se muestra en la Figura 3-I, las centrales térmicas de carbón representaba a principios de 2014 el 11% de la potencia instalada en territorio nacional. Se realiza la consideración de que esta situación se mantiene en el futuro y al resultado que se obtiene de demanda estimada se le aplica este porcentaje independientemente de la técnica que se haya utilizado para calcularlo.

### 3.4.1 PROYECCIÓN DE LA TENDENCIA FUTURA

Estudiando los cambios de la demanda nacional a lo largo de los años se puede construir una tendencia que haga una predicción de la demanda en el futuro

Los datos de demanda eléctrica se muestran en Tabla 3-VI.

Año	Demanda (GWh)	Año	Demanda (GWh)
1998	173,051	2006	254,981
1999	184,312	2007	262,436
2000	194,991	2008	265,206
2001	205,615	2009	252,660
2002	211,561	2010	260,527
2003	225,840	2011	255,597
2004	235,978	2012	252,014
2005	246,184	2013	246,368
		2014	243,530

Tabla 3-VI Evolución de la demanda eléctrica desde 1998 hasta 2014 (Red Eléctrica de España, 2013)

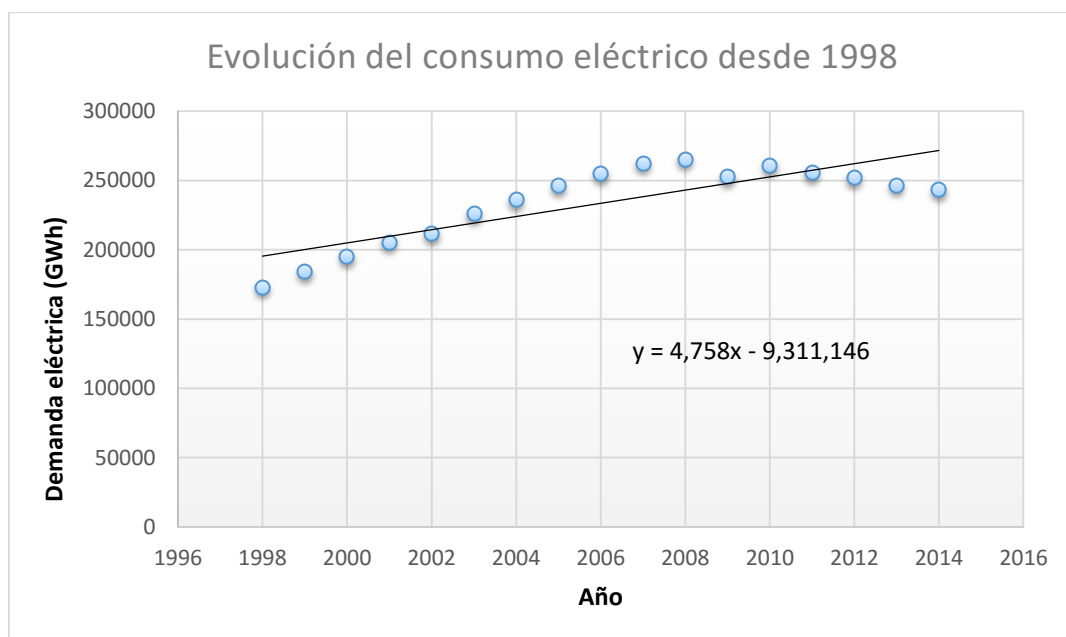


Figura 3-VII Representación de los datos de evolución de demanda eléctrica y ajuste lineal



A continuación en E 3:1 se muestra un ejemplo de cómo trabajar con una regresión haciendo un ajuste lineal de una nube de puntos. En los sucesivos anexos se proporciona directamente el resultado omitiendo el procedimiento de cálculo.

$$\text{DEMANDA (GWh)} = 4,758 (\text{Año}) - 9,311,145 \quad E\ 3:1$$

$$4,758 (2040) - 9,311,145 = 395,354 \text{ GWh/año}$$

En 2040 la demanda estimada es de 395,354 GWh/año, el valor reducido en el 40 % supone que al menos existirá una demanda de 237,213 GWh/año.

El 11% que las centrales térmicas de ciclo convencional podrían cubrir es de 26,093 GWh/año.

### **3.4.2 MÉTODO ECONOMETRICO**

---

Este método consiste en estimar la demanda futura de electricidad considerando que todos los factores que afectan a su consumo se mantienen con el paso del tiempo exceptuando el nivel de vida de la población.

Así, la representación del consumo aparente en función del Producto Interior Bruto (PIB) anual marcará una tendencia que permite extrapolar los datos y obtener una cifra que se aproxime al consumo en los siguientes años.

Ya que la evolución del PIB se ha detenido debido a la recesión económica los datos de los últimos años presentan diferente tendencia a los datos más antiguos. Esto implica que si se utiliza un ajuste lineal para predecir el comportamiento del sistema no se logra una buena estimación.

Los datos de PIB desde 1993 se presentan en la Tabla 3-VII.

Año	PIB (Millones €)	Var. Anual
2014	1,058,469	1.4%
2013	1,049,181	-1.2%
2012	1,055,158	-2.1%
2011	1,075,147	-0.6%
2010	1,080,913	0.2%
2009	1,079,034	-3.6%
2008	1,116,207	1.1%
2007	1,080,807	3.8%
2006	1,007,974	4.2%
2005	930,566	3.7%
2004	861,420	3.2%
2003	803,472	3.2%
2002	749,288	2.9%
2001	699,508	4.0%
2000	646,250	5.3%
1999	594,316	4.5%
1998	551,397	4.3%
1997	519,608	3.7%
1996	505,109	2.7%
1995	468,879	5.0%
1994	425,089	2.4%
1993	425,936	-1.0%

*Tabla 3-VII Evolución del PIB desde 1993 hasta 2014 (Instituto Nacional de Estadística, 2015)*

Para reducir el error que se cometería al aplicar la estimación se ha de seleccionar un año a partir del cual los datos del PIB presenten una tendencia estable. Mediante una comparación del PIB de España con el resto de la Eurozona y la unión Europea representada en la Figura 3-VIII, se determina que la tendencia de aumento y disminución del PIB es similar entre las tres áreas económicas y que seleccionando datos del año 2005 en adelante se puede trabajar minimizando el grado de error generado al realizar una estimación de estas características.

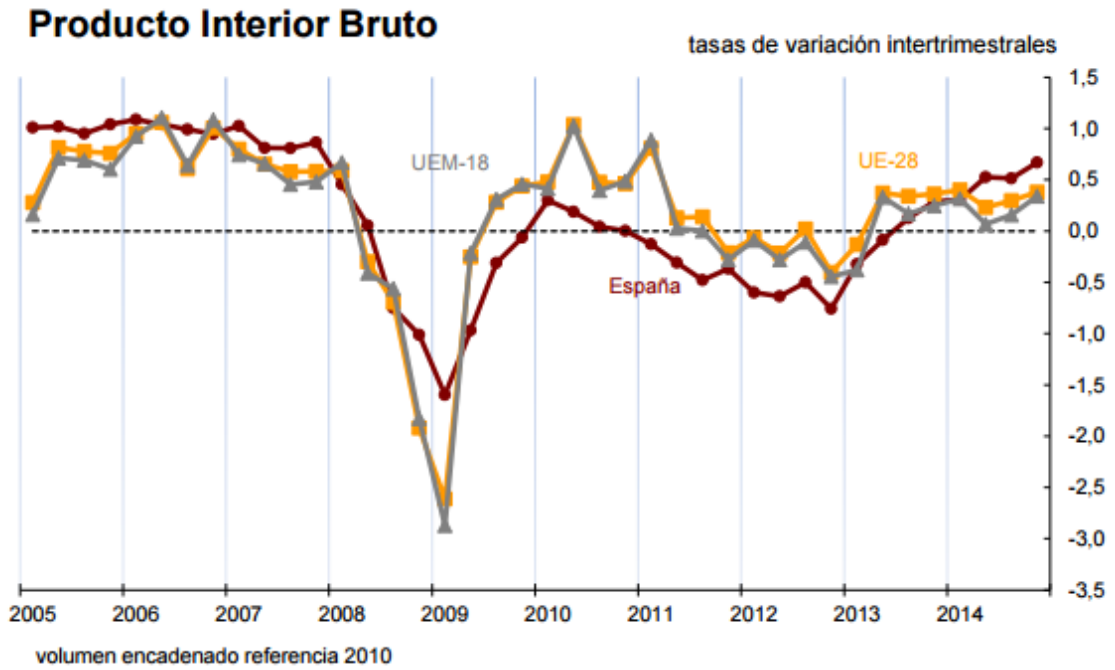


Figura 3-VIII Variación porcentual del PIB entre 2005 y 2014 en comparación con el crecimiento de la Eurozona (UEM-18) y el de la Unión Europea (UE-28) (Instituto Nacional de Estadística, 2015)

En la Figura 3-IX se muestran los datos junto al ajuste lineal realizado para el PIB a partir de 2005.

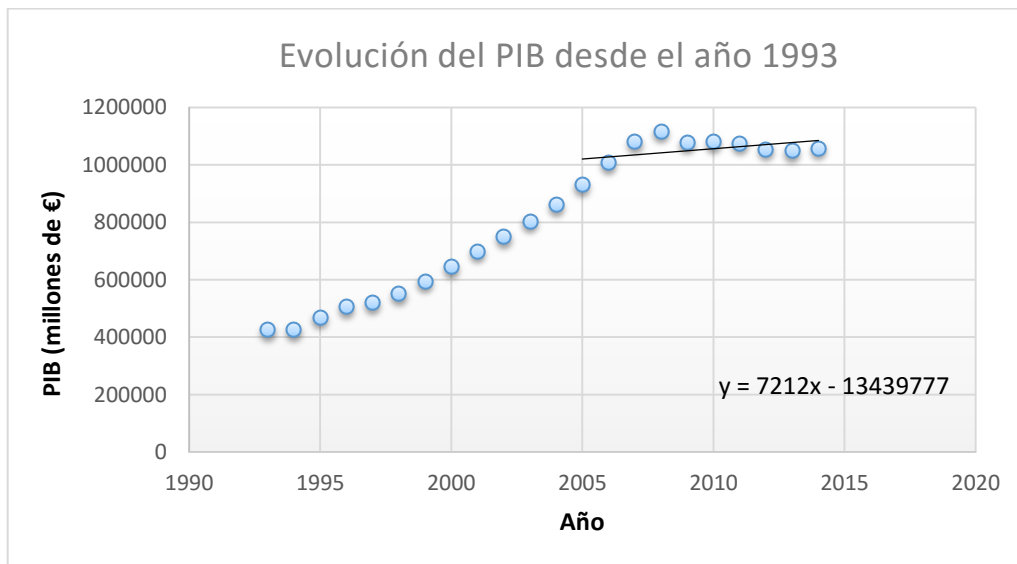


Figura 3-IX Representación del PIB a partir de 1993 y ajuste lineal para los datos a partir de 2005

$$\text{PIB (MM€)} = 7,212 (\text{Año}) - 13,439,777$$

En 2040 el PIB estimado es de 1,273,321 millones de Euros.

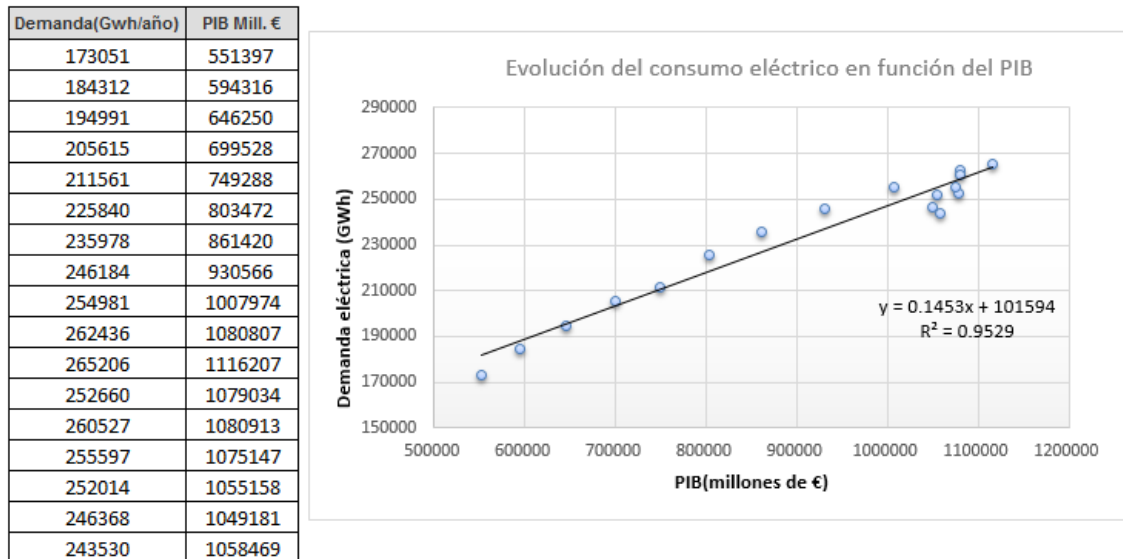


Figura 3-X Datos desde 1998 y ajuste lineal

$$\text{DEMANDA (GWh)} = 0.1453 (\text{PIB}) - 101,594$$

En 2040 la demanda estimada es de 286,645 GWh/año, siendo su valor reducido en un 40% de 171,988.

El 11% que las centrales térmicas que utilizan como materia prima carbón podrían cubrir es de 18,919 GWh/año.

### 3.5 RESULTADO DEL ESTUDIO

Comparando el resultado obtenido con cada técnica se calcula que para un 11% de potencia instalada de centrales que funcionen con carbón respecto al total habrá una demanda en 2040 de entre 18,919 GWh/año en el caso más conservador y 26,093 GWh/año en la estimación menos conservadora.

Son valores próximos dentro de la escala de GWh y que acotan lo suficiente el intervalo de estimación de manera que se pueda trabajar con la media aritmética situada en 22,506 GWh/año asumiendo un margen de error aceptable.

Para el año 2040 se prevé una demanda de electricidad en territorio nacional de 22,500 GWh a cubrir por centrales térmicas de ciclo convencional que combustionen carbón.

---

### 3.6 BIBLIOGRAFÍA

---

**British Petroleum.** 2014. BP Statistical Review of World Energy. *BP*. [En línea]. [Consultado: 04 de marzo de 2015.] <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>.

**Instituto Nacional de Estadística.** 2015. INE prensa. [En línea] 26 de Febrero de 2015. [Consultado: 16 de abril de 2014.] <http://www.ine.es/prensa/cntr0414.pdf>.

**Red Eléctrica de España.** 2013. *El Sistema Eléctrico Español*. Madrid : Red Eléctrica de España, 2013.

**Secretaría de Estado de Energía.** 2015. Centrales Nucleares en España. [En línea] 2015. [Consultado: 10 de abril de 2015.] <http://www.minetur.gob.es/energia/nuclear/Centrales/Espana/Paginas/CentralesEspana.aspx>.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 4:  
TAMAÑO DE PROYECTO



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>4</b>	<b>TAMAÑO DE PROYECTO .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.1</b>	<b>INDICADORES ECONÓMICOS.....</b>	<b>4-1</b>
4.1.1	PRECIOS DE BIENES DE CONSUMO .....	4-1
4.1.2	PRECIOS INDUSTRIALES.....	4-2
<b>4.2</b>	<b>INGRESOS POR VENTAS .....</b>	<b>4-3</b>
<b>4.3</b>	<b>COSTES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>4-4</b>
4.3.1	COSTE DE MATERIAS PRIMAS.....	4-4
4.3.2	COSTE DE SERVICIOS GENERALES .....	4-7
4.3.3	COSTE DE MANO DE OBRA DIRECTA .....	4-7
4.3.4	CAPITAL INMOVILIZADO .....	4-9
4.3.5	RESULTADO DE COSTES TOTALES .....	4-12
<b>4.4</b>	<b>PUNTO DE NIVELACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.....</b>	<b>4-13</b>
<b>4.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>4-15</b>



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 4-I Datos y ajuste de IPC .....	4-2
Figura 4-II Datos y ajuste de IPI .....	4-2
Figura 4-III Ingresos y costes anuales de la central frente a capacidad .....	4-13

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 4-I Coste laboral por operario para los cuatro trimestres del año 2014 para el sector industrial .....	4-8
Tabla 4-II Porcentajes de inversión de capital en diferentes campos.....	4-11
Tabla 4-III Puesta en marcha en función del inmovilizado .....	4-11
Tabla 4-IV Resumen de los diferentes costes de la central .....	4-12
Tabla 4-V Comparación de rentabilidad y viabilidad tecnológica .....	4-14

---

---

## 4 TAMAÑO DE PROYECTO

---

---

---

### 4.1 INDICADORES ECONÓMICOS

---

El precio de muchos bienes, como pueden ser la materia prima o el salario de un empleado, no se encuentra disponible para el año actual. Mediante la utilización de diferentes indicadores económicos se puede conocer una cifra actualizada a partir de datos obtenidos para años anteriores. La relación se explica en E 4:1.

$$P_{2015} = P_{2014} \cdot \frac{(I_{2015})}{(I_{\text{año}})} \quad E\ 4:1$$

E 4:1

P: Precios del año correspondiente (unidades homogéneas)

I: Indicador económico del año correspondiente

---

#### 4.1.1 PRECIOS DE BIENES DE CONSUMO

---

El Índice de Precios de Consumo (IPC) es una medida estadística de la evolución de los precios de los bienes y servicios que consume la población residente en viviendas familiares en España (Instituto Nacional de Estadística, 2015).

Trabajando con el ajuste polinómico de segundo orden mostrado en la Figura 4-I se estima un valor para 2015 del IPC de 105.85.

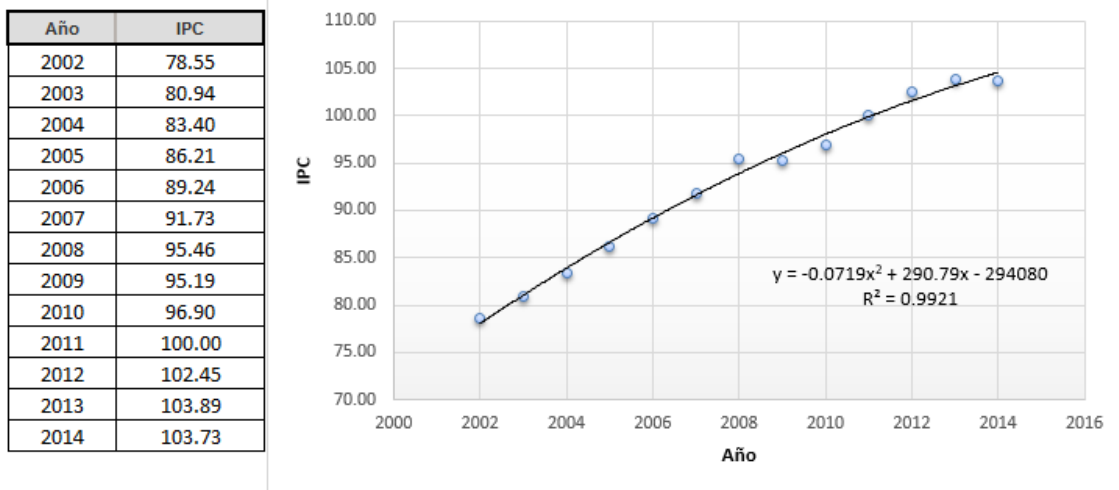


Figura 4-I Datos y ajuste de IPC

### 4.1.2 PRECIOS INDUSTRIALES

El Índice de Precios Industriales (IPI) es un indicador económico que representa la evolución de los precios de bienes de uso industrial en España (Instituto Nacional de Estadística, 2015).

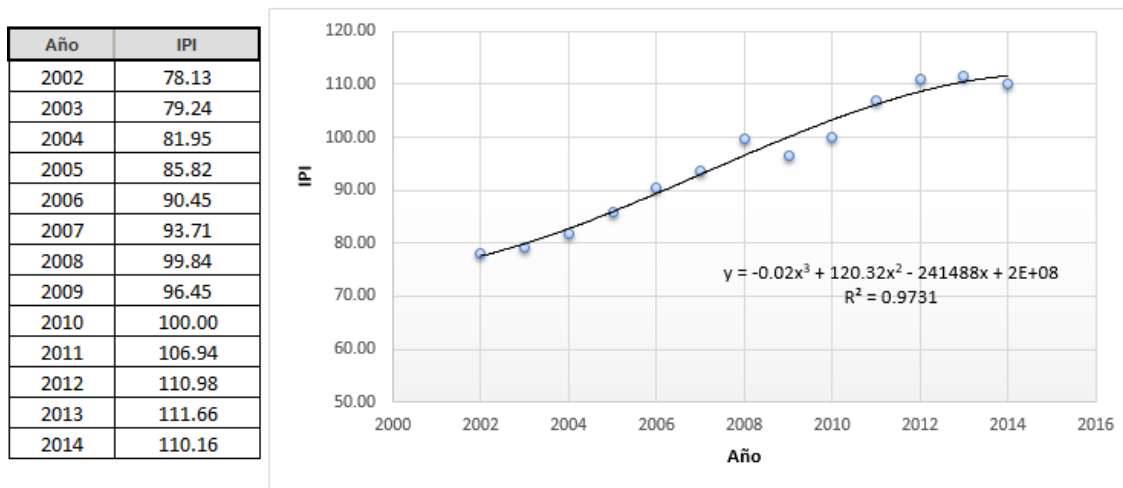


Figura 4-II Datos y ajuste de IPI

Trabajando con el ajuste polinómico de tercer orden se estima un valor de  $IPI_{2015}$  de 111.88.

---

## 4.2 INGRESOS POR VENTAS

---

Se busca hallar los ingresos obtenidos si la central térmica a diseñar cubriese los 22,500 GWh/año de demanda nacional total prevista para centrales térmicas de combustión de carbón en el año 2040 planteada en el Anexo de Estudio de Mercado. Esta producción de electricidad tiene un valor demasiado elevado para ser cubierto por la potencia instalada de una única central, y se utiliza solo desde un punto de vista de viabilidad económica.

Para calcular los ingresos obtenidos en la venta del producto utilizamos un modelo estimativo basado en la capacidad de producción (Vian Ortuño, 1969) y se emplea la E 4:2:

$$V = \sum_i (p_i \cdot q_i) \quad E\ 4:2$$

E 4:2

V: Ingresos por ventas o “income” (€/año)

q: Capacidad de producción (MWh/año)

p: Precio del producto en el mercado (€/MWh)

El precio medio de venta de la electricidad generada se sitúa en: 95.00 €/MWh (García, 2015)

No se aplica ningún coeficiente macroeconómico para actualizar el precio puesto que éste se estima en base a un contrato con Red Eléctrica de España a fecha de mayo de 2015.

Ingresos por ventas máximos de:

$$V = 95 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 2.25 \cdot 10^7 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} = 2138 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Los ingresos obtenidos para una producción de 22,500 GWh/año son:

$$V = 2,138 \text{ MM€}/\text{año}$$

---

### **4.3 COSTES DE PRODUCCIÓN**

---

Acorde con el modelo propuesto por Vian Ortuño (Vian Ortuño, 1969) , se puede hacer una estimación de los costes de producción utilizando la ecuación E 4:3, para hallar un valor aproximado del coste total dividiendo su peso en cuatro partidas:

$$C = M_1 + M_5 + 1.5 \cdot M_2 + 0.3 \cdot I \quad E 4:3$$

E 4:3

C: Coste de producción (MM€/año)

M<sub>1</sub>: Coste de las materias primas (MM€/año)

M<sub>5</sub>: Coste de los servicios generales (MM€/año)

M<sub>2</sub>: Coste de la mano de obra directa (MM€/año)

I: Coste de inmovilizado (MM€)

El sumando que engloba el coste de inmovilizado queda corregido mediante el factor 0.3 para poder trabajar con homogeneidad de un unidades y añadirse a los sumandos expresados en MM€/año.

---

#### **4.3.1 COSTE DE MATERIAS PRIMAS**

---

Se considera el coste del carbón empleado que es la materia prima dónde reside el peso económico del ciclo de producción fundamental de la central, que va a operar con un 50% de carbón nacional y un 50% de carbón importado.

Para calcular el coste de la energía producida se trabaja con los datos de precio de compra de carbón nacional y carbón importado reflejado en el Anexo de Materia Prima.

La unidad elegida para trabajar con el precio de carbón es el €/tm. A continuación se muestra un ejemplo de la conversión de unidades de precio de carbón importado de capacidad calorífica inferior 5816 kcal/kg con precio de 1.29 c€/termia (Merino García, 2015):

$$1.29 \text{ c€}/\text{termia} \cdot \frac{\text{termia}}{1000 \text{ kcal}} \cdot \frac{5816 \text{ kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ tm}} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ c€}} = 75.03 \text{ €/tm}$$

Los precios mostrados a continuación se han obtenido para el año 2015 y que no necesitan ajustarse mediante un indicador económico:

$$P_{\text{CARBÓN Importado 2015}} = 75.03 \text{ €/tm}$$

$$P_{\text{CARBÓN Nacional 2015}} = 85.79 \text{ €/tm}$$

La cifra del mix de combustible para la mezcla de carbón se sitúa en 80.41 €/tm “delivered duty paid” (DDP) en 2015.

Una vez se dispone del precio de cada tonelada de combustible, se estima la cantidad necesaria de carbón que se habría de combustionar para generar la energía requerida.

Se ha explicado anteriormente que en una central térmica la generación de energía eléctrica no es directa, sino que en la planta se tiene un circuito de conversión de energía, idealmente con comportamiento de ciclo de potencia Rankine.

En una situación real la conversión de energía implica una pérdida de eficiencia y por tanto la aparición de un rendimiento que relaciona la combustión de carbón con la generación de electricidad.

En el Anexo de Selección de Proceso se escoge trabajar en ciclo convencional y se argumenta que es un proceso estudiado y conocido. Por este motivo se cuentan con datos fiables de rendimiento del proceso presentados en ese mismo anexo con los que se puede realizar una estimación de que cantidad de materia prima que se va a consumir.

Partiendo de la cifra de 85% de máximo rendimiento térmico que se puede lograr con un buen diseño y mantenimiento de caldera radiante diseñada para un proceso PCC, hasta el 45% de rendimiento que permite el ciclo Rankine de aprovechamiento entálpico, descontando consumo en servicios auxiliares y perdidas de generación, se acaba obteniendo un rendimiento energético máximo neto medio total de 35% durante los 25 años de vida de la central.

Considerando el carbón de diseño (mix al 50% de antracita y hulla: Anexo de Materia Prima) con un poder calorífico inferior de la mezcla de 22138 kJ/kg (Merino García, 2015), la cantidad de carbón necesaria se calcula como se muestra en la E 4:4.

$$C_{CARBÓN} = \frac{q}{E_T \cdot \eta_{CC}} \quad E 4:4$$

$$C_{CARBÓN} = \frac{22.5 \cdot 10^6 \text{ MWh/año}}{(22138 \text{ MJ/tm}) \cdot 0.35} \cdot \frac{1h}{3600s} = 10,453,906 \frac{\text{tm}}{\text{año}}$$

E 4:4

$C_{CARBÓN}$ : Cantidad de carbón a combustionar (tm/año)

q: Capacidad de producción (MWh/año)

$E_T$ : Poder calorífico mezcla carbón nacional e importado al 50% (MJ/tm)

$\eta_{CC}$ : Rendimiento neto de generación eléctrica del proceso de ciclo convencional

$$M_P = C_{CARBÓN} \cdot P_{CARBÓN 2015} \quad E 4:5$$

E 4:5

$M_P$ : coste de las materias primas (MM€/año)

El coste de la materia prima a un precio de combustible de 80.41 €/tm es de:

$$M_P = 841 \text{ MM€/año}$$

### **4.3.2 COSTE DE SERVICIOS GENERALES**

---

Se incluyen los servicios necesarios en el proceso de producción que no se producen en el proceso de fabricación. Según el modelo se puede calcular con buena precisión considerando que el coste oscila entre el 10-20% de los costes totales de producción.

La central térmica se va a diseñar de modo que no sea necesario comprar electricidad de la red ni vapor de agua, debido a que en la central funciona un ciclo de agua cerrado y se produce vapor de tal manera que se reutiliza en toda la planta, además de su principal función que es la de generar electricidad. Por esta razón se emplea un valor del 10% para la estimación de costes de servicios:

$$M_5 = 0.10 \cdot C$$

### **4.3.3 COSTE DE MANO DE OBRA DIRECTA**

---

La central térmica se diseña para trabajar en continuo.

Esto es 24 horas/día, 7 días/semana y 334 días/año, permitiendo un mes al año de parada destinado a mejoras de la central, mantenimiento y reparaciones. Esto supone que se ha de preparar la central para operar 8000 horas por año.

Cada operario trabajará en turnos efectivos de 8 horas (tres turnos por día) durante 5d/semana. Descontando un mes de vacaciones al año obtenemos 40 h/semana por cada operario. Para calcular el coste que esto supone por año se utiliza la E 4:6 .

$$M_2 = \left( \frac{Hh}{tm \cdot op} \right) \cdot C_{CARBÓN} \cdot S_{2015} \cdot op \quad E\ 4:6$$

E 4:6

$M_2$ : Coste de la mano de obra directa (€/año)

$\left( \frac{Hh}{tm \cdot op} \right)$ : Hombre hora por tonelada y número de operación

$C_{CARBÓN}$ : Cantidad de carbón a combustionar (tm/año)

$S_{2015}$ : Salario que cobra cada empleado a año 2015 (€/h)

$Op$ : Número de operaciones



-La cantidad del mix de carbón necesario se ha calculado previamente en la sección de coste de materias primas.

-El salario que cobra cada empleado se calcula obteniendo los datos de coste laboral por hora en la industria mostrados en Tabla 4-I para el último año en el que estén disponibles y utilizando el índice de precios de consumo para actualizar su valor.

Trimestre	€/h
1	19.98
2	21.73
3	23.11
4	22.88

Media	21.93
-------	-------

Tabla 4-I Coste laboral por operario para los cuatro trimestres del año 2014 para el sector industrial (Instituto Nacional de Estadística, 2015)

$$S_{2015} = (21.93\text{€/h})_{2014} \cdot \frac{105.85 (IPC_{2015})}{103.73 (IPC_{2014})} = 22.37\text{€/tm}$$

-El número de operaciones que se consideran es tres:

- Análisis, control y manipulación de materias primas: La composición del carbón se ha de examinar para tener un adecuado control del proceso y asegurar que el proveedor cumple con la calidad de carbón que se ha acordado. Se trata de una operación semiautomática.
- Proceso PCC: Se diseña para que el grado de automatización sea alto, con lo que solo se considera como una sola operación. Esto lo permiten equipos como la torre de refrigeración o el condensador. Se requiere una sala de control con buenos sistemas que regulen el proceso, operarios preparados para intervenir de modo que se minimice el tiempo de parada anual y un volumen grande de instrumentación.
- Control de emisiones: Debido a la naturaleza del proceso se considera como una sola operación la sección del tratamiento de gases de combustión y la regulación de las emisiones para cumplir con la normativa en todo momento.

-Finalmente y acorde con el modelo para estimar el número de hombres hora se aplica el método de Andrés (E 4:7) adecuado para industrias españolas:

$$\left(\frac{Hh}{tm \cdot op}\right) = 61.33 \cdot q_{\text{día}}^{-0.82} \quad E\ 4:7$$

$$\left(\frac{Hh}{tm \cdot op}\right) = 0.012$$

E 4:7

$q_{\text{día}}$ : Cantidad de carbón a combustionar por día trabajado (31,362 tm/día para la demanda máxima nacional de 22,500 GWh/año)

$$M_2 = 9 \text{ MM€}/\text{año}$$

#### **4.3.4 CAPITAL INMOVILIZADO**

---

El capital inmovilizado representa el coste de la inversión que una vez realizada no se puede recuperar. Es necesario para disponer de todos los bienes de producción y siguiendo el modelo se estima su valor mediante la expresión E 4:8.

$$I = I_A + I_B + I_C \quad E\ 4:8$$

E 4:8

I: Capital inmovilizado (MM€)

$I_A$ : Activo fijo (MM€)

$I_B$ : Coste de los estudios previos para llevar a cabo el proyecto (MM€)

$I_C$ : Coste de puesta en marcha (MM€)

#### **4.3.4.1 ACTIVO FIJO**

---

Esta partida engloba diversas inversiones como el coste de los equipos, el gasto en instalaciones y el precio de los solares.

Se calcula utilizando una expresión que relaciona los ingresos por ventas y el coste del activo fijo. Esta relación es el coeficiente de giro E 4:9, un número que depende del tipo de industria con el que se esté trabajando y no varía con los años, así el valor del activo fijo obtenido será válido para el año del que se obtengan los datos de los ingresos por ventas.

$$g = \frac{V}{I_A} \quad E\ 4:9$$

E 4:8

g: Coeficiente de giro (año<sup>-1</sup>)

Se decide emplear un coeficiente de giro  $g=0.97$ , que es típico para la industria y proporciona un valor conservador de activo fijo.

$$I_A = \frac{V}{0.97} = 2204\ MM\text{€}$$

#### **4.3.4.2 ESTUDIOS PREVIOS E INVESTIGACIÓN**

---

Incluye el coste de los estudios requeridos antes de la construcción de la central junto con la investigación y las pruebas en planta piloto. El coste se estima como un porcentaje del capital inmovilizado total atendiendo a la Tabla 4-II.

Capital empleado en	Productos nuevos; gran tonelaje	Productos mejorados; pequeño tonelaje	Productos nuevos; pequeño tonelaje
Investigación de laboratorio	4	7	33
Investigación piloto	4	16	30
Estudios y proyectos de la planta industrial	4	12	4
Instalación industrial, incluida su puesta a punto	88	65	33
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabla 4-II Porcentajes de inversión de capital en diferentes campos (Vian Ortuño, 1969)

Ya que se trata de un producto nuevo de gran tonelaje el coste de la instalación industrial, incluyendo su puesta a punto, es decir  $I_A + I_C$  representa un 88% del coste total.

El restante 12% es el coste que engloba los estudios previos e investigación.

$$I_C = 0.12 \cdot I$$

#### 4.3.4.3 PUESTA EN MARCHA

El modelo explica que si el coste del activo fijo supera los 10 MM€ entonces la puesta en marcha se puede estimar como un valor constante del 8% del total (Tabla 4-III).

COSTE DE PUESTA EN MARCHA	
Inmovilizado (MM \$)	Coste (% de inmovilizado)
<b>0.3</b>	22
<b>1</b>	15
<b>3</b>	11
<b>10</b>	8

Tabla 4-III Puesta en marcha en función del inmovilizado

Si el activo fijo es uno de los sumandos que se utilizan para obtener el coste del inmovilizado entonces  $I > I_A$ .

Disponemos del valor de  $I_A$  y con una equivalencia de 1.1 \$/€.

$$2204 \text{ MM€} \cdot 1.1 \text{ \$/€} = 2424 \text{ MM\$}$$

Entonces si  $I > I_A > 2424 \text{ MM \$}$  se estima que el coste de la puesta en marcha es el 8% de  $I$  coste del inmovilizado total atendiendo a la Tabla 4-III.

$$I_c = 0.08 \cdot I$$

#### **4.3.5 RESULTADO DE COSTES TOTALES**

---

Calculando todas las partidas y aplicando la E 4:3 obtenemos los costes resumidos en Tabla 4-I.

Coste de central térmica con capacidad de 22500 GWh/año		MM de Euros/año
<b>M1 (materias primas)</b>		841
<b>M5 (Servicios generales)</b>		187
<b>M2 (Mano de obra)</b>		9
<b>Inmovilizado en MM de Euros</b>	Activo fijo	2204
	Estudios previos	331
	Puesta en marcha	220

*Tabla 4-IV Resumen de los diferentes costes de la central*

- Aplicando E 4:3 se obtiene que el coste de producción es de:

$$C = 1867 \text{ MM€/año}$$

## 4.4 PUNTO DE NIVELACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA

Una vez se dispone de los datos de ingresos por ventas y coste de producción se estudia su variación frente a la capacidad de la central para obtener el punto de nivelación. Este punto representa la capacidad a partir de la cual la construcción de la central térmica presenta viabilidad económica y un grado de rentabilidad.

Para la capacidad de producción de 0 GWh/año se asigna un valor de coste fijo de la planta del 20% del coste total, esto es 373 MM€/año, mientras que los ingresos parten del origen debido a la ausencia de un producto que vender.

La variación de ingresos y costes anuales para la central son entonces dos líneas rectas y el punto de corte entre ambas es el punto de nivelación como se muestra en la Figura 4-III.

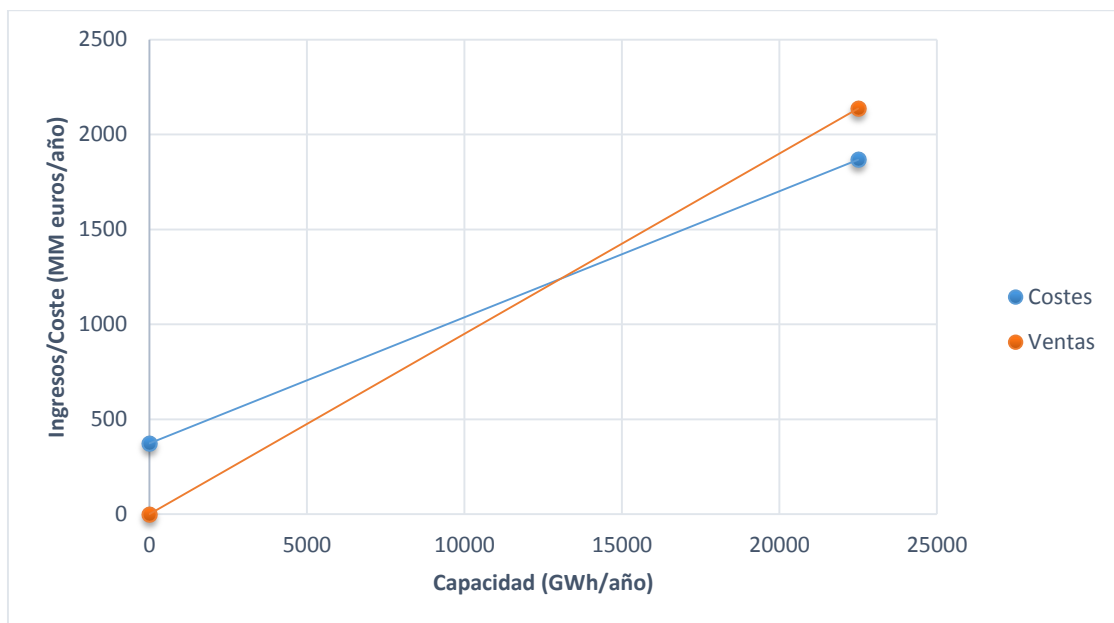


Figura 4-III Ingresos y costes anuales de la central frente a capacidad

- El punto de nivelación se obtiene para la capacidad de 13,045 GWh/año.

A partir de esta capacidad la construcción de la central es viable económicamente, pero se ha de encontrar un valor de capacidad que sea suficientemente rentable y que a la vez presente viabilidad tecnológica, como se muestra en los datos de la Tabla 4-V.

<b>% de capacidad</b>	<b>Capacidad (GWh/año)</b>	<b>Coste (MM E)</b>	<b>Ingresos (MM E)</b>	<b>Ratio</b>	<b>Potencia inst. (MW)</b>
10	2,250	523	213.75	0.41	281
30	6,750	821	641.25	0.78	844
50	11,250	1120	1068.75	0.95	1406
70	15,750	1419	1496.25	1.05	1969
90	20,250	1718	1923.75	1.12	2531
100	22,500	1867	2137.5	1.14	2813

*Tabla 4-V Comparación de rentabilidad y viabilidad tecnológica*

- Tras la obtención de los resultados se concluye que la central térmica a diseñar dispondrá de una potencia instalada de 2000 MW capaces de producir anualmente 16,000 GWh.
- Esto supondrá una ratio entre ingresos y costes estimados de 1.06, llegando a cubrir la central térmica un 42.67% del aumento de la demanda eléctrica nacional prevista para las centrales que consuman carbón en el año 2040.

---

## 4.5 BIBLIOGRAFÍA

---

**García, J. M.** 2015. *Comunicación personal. 6 de mayo de 2015.* Abengoa Bioenergy. Responsable de producción. Babilafuente (Salamanca, España). jm.garcia@abengoa.com.

**Instituto Nacional de Estadística.** 2015. INE base IA&H. *Indice de precios industriales. Media nacional anual categoría extracción de antracita y hulla.* [En línea] [Consultado: 20 de abril de 2015.] <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=3314>.

—. 2015. INEbase. *Series por sectores de actividad por componente de coste.* [En línea] [Consultado: 27 de abril de 2015.] [http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=6086 /](http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=6086/).

—. 2015. INEbase IPC. *Indice de precios de consumo. Media anual categoría general.* [En línea] [Consultado: 19 de abril de 2015.] <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=10305>.

—. 2015. INEbase IPI. *Indice de precios industriales. Media nacional anual categoría general.* [En línea] [Consultado: 20 de abril de 2015.] <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=3311>.

**Merino García, A.** 2015. *Comunicación personal, marzo de 2015.* Endesa. Responsable de operación en UPT Compostilla. Cubillos de Sil (León, España).

**Vian Ortuño, A.** 1969. *El pronóstico económico en química industrial.* [ed.] Pearson Education. Madrid : Alhambra. ISBN 9788420501857.



GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 5:  
LOCALIZACIÓN



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>5</b>	<b>LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>5-1</b>
<b>5.1</b>	<b>SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>5-1</b>
<b>5.2</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD .....</b>	<b>5-2</b>
<b>5.1</b>	<b>UBICACIÓN DE LA PARCELA .....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.1</b>	<b>CLIMA .....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.2</b>	<b>TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE.....</b>	<b>5-3</b>
<b>5.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>5-4</b>
<b>5.4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>5-5</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 5-I Ubicación de los yacimientos de carbón. Traducido del inglés. .... 5-1

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 5-I Reservas de carbón por regiones ..... 5-2

---

## 5 LOCALIZACIÓN

Las características en orden de relevancia que debe reunir la parcela dónde se ubique la central térmica son:

- Área de gran extensión.
- Proximidad a la fuente de combustible.
- Proximidad a la fuente de agua.
- Distancia de grandes núcleos de población.
- Proximidad a vías de transporte.

### 5.1 SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS

La central térmica requiere grandes cantidades de carbón, un combustible que muy voluminoso. Por este motivo, el factor con más peso sobre la rentabilidad de la planta a la hora de elegir su ubicación es la proximidad de la central a un yacimiento.

Los yacimientos existentes en España se muestran en la Figura 5-1.

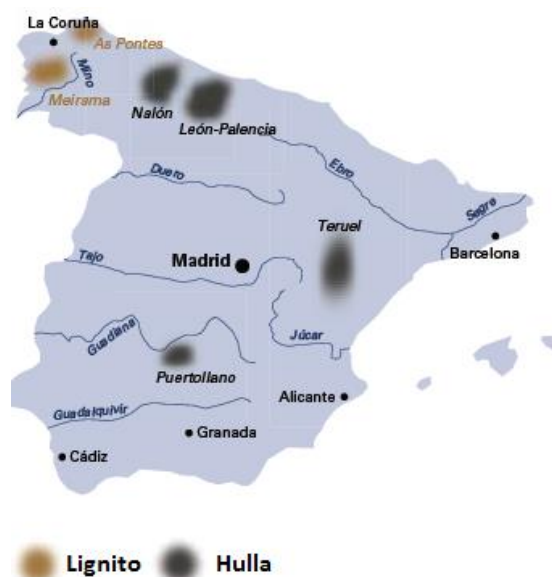


Figura 5-1 Ubicación de los yacimientos de carbón (EuraCoal, 2014). Traducido del inglés.

La Tabla 5-I refleja las reservas de carbón disponibles, indicando la abundancia de reservas en el norte de la península.

Cuencas	Muy probables y probables (Mt)	Posibles e hipotéticas (Mt)	Total (Mt)	Total (Mtec)
<b>Hulla y antracita</b>				
Asturias Occidental	13,6	42,0	55,6	47,3
Central Asturiana	272,9	576,7	849,6	722,5
Resto de Asturias	62,0	200,9	262,9	223,5
Villablino-El Bierzo (León)	179,5	832,5	1 012,0	860,2
Norte de León	94,5	234,9	329,4	280,0
Guardo-Barruelo (Palencia)	56,8	535,5	592,3	503,5
Suroccidental (Cr-Co-Se-Ba)	<u>132,2</u>	<u>72,3</u>	<u>204,5</u>	<u>173,8</u>
<b>Total hulla y antracita</b>	<b>811,5</b>	<b>2 494,8</b>	<b>3 306,3</b>	<b>2 810,8</b>
<b>Hulla subbituminosa</b>				
Teruel	265,0	642,7	907,7	408,5
Mequinenza (Lérida-Zaragoza)	17,7	106,0	123,7	55,7
Pirenaica (Barcelona)	34,8	104,8	139,6	62,8
Baleares	<u>28,1</u>	<u>14,7</u>	<u>42,8</u>	<u>19,2</u>
<b>Total hulla subbituminosa</b>	<b>345,6</b>	<b>868,2</b>	<b>1 213,8</b>	<b>546,2</b>
<b>Lignito pardo</b>				
Puentes y Meirama (La Coruña)	261,0	–	261,0	78,3
Padul (Granada)	<u>93,7</u>	–	<u>93,7</u>	<u>28,1</u>
<b>Total lignito pardo</b>	<b>354,7</b>	–	<b>354,7</b>	<b>106,4</b>
<b>TOTAL NACIONAL (Mtec)</b>			<b>3 463,4</b>	

Tabla 5-I Reservas de carbón por regiones (Instituto Geológico y Minero de España, 2014)

El primer criterio para cercar el área de posibles localizaciones de la central se establece fijando como fuente de materia prima los yacimientos de hulla ubicados en Asturias. Concretamente los yacimientos de las cuencas mineras, que son más de 20 municipios ubicados en el Valle del Caudal y Valle del Nalón.

## 5.2 DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD

La infraestructura nacional es buena y permite el transporte de energía eléctrica sin dificultades de índole económica. Debido a este motivo, el factor de distribución de electricidad tiene muy poco peso en la localización de la central.

---

## 5.1 UBICACIÓN DE LA PARCELA

---

La oferta de parcelas de gran extensión, aisladas de comunidades de personas, cercanas a los yacimientos, con proximidad a una fuente de agua y cercanía a una carretera nacional es muy baja.

Estudiando las parcelas cercanas a la zona de cuencas mineras al noroeste de la península, la parcela que cumple de manera más satisfactoria los requisitos propuestos es la parcela que se elige.

Se encuentra en la provincia de A Coruña, en la comarca de Betanzos limitando con la provincia de Lugo. La población más cercana es la localidad de Teixeiro, que pertenece al municipio de Curtis.

Esta parcela se elige fundamentalmente por la gran superficie de la que dispone, 270,020 m<sup>2</sup>. Su emplazamiento se visualiza en el **Plano 1** y en el **Plano 2**.

---

## 5.1 CLIMA

---

El clima de A Coruña, es de tipo oceánico en su variedad meridional, sin gran diferencia de temperaturas durante las diferentes estaciones del año. El aire atmosférico se utiliza en la central como comburente. Como valores de diseño, las condiciones del aire se consideran como las medias anuales: 11°C de temperatura y 65 % de humedad relativa (Agencia Estatal de Meteorología, 2014).

---

## 5.2 TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE

---

La parcela tiene una carretera nacional adyacente. La proximidad a la fuente de materia prima sugiere que el método de transporte se realice mediante camiones que carguen el combustible desde el yacimiento y descarguen en el parque de carbón de la central.

La ventaja de este método es que, conociendo el peso del camión, la precisión de la medida realizada para determinar la cantidad de carbón que el camión transporta es alta, lo que favorece el proceso de aprovisionamiento de combustible.

---

### **5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA**

---

Las coordenadas de localización de la parcela son 43° 09' 17.1" N 8° 00' 32.9" W, y presenta las siguientes características:

- Área de 270,020 m<sup>2</sup>, suficiente para ubicar la central y permitir futuras ampliaciones.
- Entre 200 km y 300 km de distancia a los yacimientos del Valle del Caudal y Valle del Nalón.
- 30 km de distancia al río Ulla e inmediatamente adyacente a diversos ríos (Deo, Cabalar, Mandeo...) de medio y bajo caudal.
- A 40 km del núcleo de población más cercano con una densidad de población superior a 50 hab/km<sup>2</sup>.
- Fachada a la N-634: San Sebastián-Santiago.



---

## 5.4 BIBLIOGRAFÍA

---

**Agencia Estatal de Meteorología.** 2014. *Datos climatológicos*. [En línea] [Consultado: 3 de mayo de 2015.]

**EuraCoal.** 2014. *Carbón en España*. [En línea] 2014. [Consultado: 30 de abril de 2015.] <http://www.euracoal.org/pages/layout1sp.php?idpage=81>.

**Instituto Geológico y Minero de España.** 2014. *Panorama Minero 2014*. [En línea] [ Consultado: 30 de abril de 2015.] <http://www.igme.es/PanoramaMinero/Panorama%20minero%202014.pdf>. NIPO 728-14-003-1.

GRADO EN INGENIERÍA QVÍMICA



UNIVERSIDAD D SALAMANCA  
FACULTAD D CIENCIAS QVÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 6:  
INGENIERÍA DE PROCESO



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>6</b>	<b>INGENIERÍA DE PROCESO</b> .....	<b>6-1</b>
<b>6.1</b>	<b>REACCIONES DE COMBUSTIÓN</b> .....	<b>6-1</b>
6.1.1	EXCESO DE COMBURENTE.....	6-3
6.1.2	POTENCIA CALORÍFICA DEL COMBUSTIBLE.....	6-4
6.1.3	CARACTERÍSTICAS DEL COMBURENTE .....	6-5
<b>6.2</b>	<b>CICLO RANKINE REGENERATIVO CON SOBRECALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO</b> .....	<b>6-5</b>
6.2.1	VAPOR SOBRECALENTADO .....	6-9
6.2.2	VAPOR RECALENTADO.....	6-9
6.2.3	REGENERACIÓN: EXTRACCIÓN DE VAPOR DE TURBINA .....	6-9
<b>6.3</b>	<b>CALDERA DE VAPOR: CV-01</b> .....	<b>6-10</b>
6.3.1	HOGAR.....	6-10
6.3.2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO: S-01 .....	6-11
6.3.3	PANTALLA DE CHOQUE .....	6-12
6.3.4	BANCO DE CONVECCIÓN .....	6-12
6.3.5	MOLINOS DE PULVERIZACIÓN: MP-01 .....	6-13
<b>6.4</b>	<b>TURBINA DE VAPOR: T AP-01 y T BP-01</b> .....	<b>6-13</b>
<b>6.5</b>	<b>ALTERNADOR: A-01</b> .....	<b>6-15</b>
<b>6.6</b>	<b>CONDENSADOR: CD-01</b> .....	<b>6-16</b>
<b>6.7</b>	<b>BOMBAS: B-01 y B-02</b> .....	<b>6-17</b>
<b>6.8</b>	<b>DESGASIFICADOR: DG-01</b> .....	<b>6-17</b>
<b>6.9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>6-18</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 6-I Diagrama temperatura-entropía del ciclo Rankine ideal .....	6-6
Figura 6-II Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine con sobrecalentamiento .....	6-7
Figura 6-III Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine con recalentamiento .....	6-7
Figura 6-IV Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo.....	6-8
Figura 6-V Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento que opera en la central .....	6-8
Figura 6-VI Esquema de la SST-5000.....	6-15

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 6-I Reacciones de combustión en la caldera.....	6-3
Tabla 6-II Dimensiones del generador de vapor.....	6-11
Tabla 6-III Dimensiones del hogar.....	6-11
Tabla 6-IV Dimensiones del sobrecalentador.....	6-12
Tabla 6-V Dimensiones del recalentador .....	6-12
Tabla 6-VI Dimensiones del economizador .....	6-13
Tabla 6-VII Parámetros de la turbina SST-5000.....	6-14
Tabla 6-VIII Parámetros de la turbina SST-5000. Traducido del inglés.....	6-14

---

## 6 INGENIERÍA DE PROCESO

---

La central térmica trabajará en continuo para generar 16,000 GWh al año mediante cinco grupos iguales de 400 MW de potencia instalada funcionando con ciclo convencional y obteniendo la energía de la combustión de carbón. El rendimiento del proceso es del 31%.

Al final de este anexo se incluye el diagrama de flujo completo de la central térmica.

---

### 6.1 REACCIONES DE COMBUSTIÓN

---

La combustión es la combinación química de oxígeno con otros elementos. Se trata de una reacción altamente exotérmica y de cinética rápida que se va a emplear como fuente de energía calorífica para alimentar el ciclo de potencia.

El combustible a utilizar será carbón, considerado para la ingeniería de proceso como el carbón de diseño explicado en el anexo de Materia Prima.

Como comburente (la especie que lleva el oxígeno) se utiliza aire atmosférico que se considerará como aire técnico simplificado (ATS).

- **Combustión completa:** La reacción química transcurre hasta que todas las sustancias combustibles alcanzan su mayor estado de oxidación. Se alcanza en dependiendo de la relación combustible/comburente y de las condiciones de operación.

La combustión transcurre en la caldera de vapor. El proceso se diseña en las condiciones óptimas para que tengan lugar las siguientes reacciones primarias de combustión completa entre el oxígeno y los elementos presentes en el carbón de diseño:



- **Conversión:** La combustión completa de las especies supone que la conversión de las mismas es del 100% (The Babcock & Wilcox Co, 2007). Se trata de una consideración muy aproximada a la realidad para una tecnología de combustión de carbón pulverizado (PCC)<sup>1</sup>, ya que si bien en el proceso la mezcla de reactivos no es perfecta, tan solo se encontrarán ínfimas cantidades de carbono sin reaccionar, que se mezclarán con las cenizas, y de hidrógeno y azufre que saldrán con el GC (gas de combustión).

El GC estará formado por dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre y otras especies provenientes de la combustión incompleta. Si bien la caldera se prepara para operar en condiciones óptimas para favorecer la combustión completa y minimizar la presencia de estas especies indeseables, es inevitable que se produzcan reacciones secundarias:



Para el nitrógeno se considera una conversión de 1%. La razón es que todo el nitrógeno presente en la roca caliente de carbón va a reaccionar, pero no lo hará así el nitrógeno poco reactivo del aire a temperatura ambiente, debido a que no se encuentra a suficiente temperatura para que la reacción transcurra. Sin embargo, una pequeña cantidad del nitrógeno que entra como comburente sí que reacciona debido a su calentamiento con los gases de combustión durante la circulación por convección de los mismos.

El nitrógeno que reacciona da lugar a diversos óxidos de nitrógeno. El compuesto que se forma en mayor cantidad es el monóxido de nitrógeno. El análisis Orsat del GC revela que su formación es superior a la de otros óxidos de nitrógeno (Severns, y otros, 1982). Para el estudio de las reacciones se considera como el único óxido de nitrógeno producido.

El carbono reacciona para dar dos compuestos diferentes.

---

<sup>1</sup> Pulverised coal combustion

La selectividad de las dos reacciones varía dependiendo de las condiciones del proceso y se suele determinar después de analizar el GC en la central mediante un aparato de Orsat.

Sin embargo ya que la combustión completa es mayoritaria, la selectividad a monóxido de carbono en un proceso controlado es siempre baja (Severns, y otros, 1982). Se considera una selectividad de diseño de 3%.

Tras el análisis se determina que el monóxido de carbono y el monóxido de nitrógeno también estarán presente en el GC.

El resumen de las conversiones y selectividades de las reacciones de combustión se muestra en la Tabla 6-I.

Especies	Símbolo	Conversión (%)	Selectividad a producto (%)	
Carbono	C	100	CO <sub>2</sub>	97
			CO	3
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	100	H <sub>2</sub> O	100
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1	NO	100
Azufre	S	100	SO <sub>2</sub>	100

Tabla 6-I Reacciones de combustión en la caldera

### 6.1.1 EXCESO DE COMBURENTE

Un defecto de comburente generará una combustión incompleta dando lugar, como se ha explicado, a pérdidas importantes en forma de monóxido de carbono e hidrógeno libre. Parte del potencial energético del combustible se desaprovecha y se pierde combustible en forma de carbón no quemado (pérdida de combustible).

Demasiado exceso de comburente también presenta efectos negativos sobre el rendimiento energético de la caldera. Un contenido de aire superior al óptimo absorberá energía calorífica sin producir una mejora de las condiciones de reacción. La cantidad en exceso de aire para una combustión óptima depende de los factores conocidos como las tres "T": tiempo, temperatura y turbulencia (Severns, y otros, 1982) :



- Tiempo disponible antes de que los gases de combustión ascendentes alcancen la zona fría de la caldera.
- Temperatura a la que se encuentra la mezcla precalentada de aire con carbón.
- Grado de la pre-mezcla aire y carbón. Este factor también depende del tipo de carbón utilizado y de la técnica de combustión.

Ya que la central emplea una tecnología PCC, el valor óptimo de exceso de comburente se encuentra entre 15 y 20% en moles.

Se va a utilizar 20% de exceso en moles de aire debido a la presencia de antracita en el combustible, ya que a pesar de combustionar liberando mucha energía, es más difícil de quemar que la hulla.

### **6.1.2 POTENCIA CALORÍFICA DEL COMBUSTIBLE**

La potencia calorífica del combustible usado en la central es la energía que libera cada kilogramo de carbón al producirse la combustión completa. Esto es, un valor positivo igual a la magnitud de la entalpía de combustión.

El análisis del carbón que se va a alimentar a la caldera revela la proporción de peso de los elementos que lo constituyen, sin embargo no proporciona información sobre que compuestos están formando dentro del combustible. Un ejemplo es el hidrógeno, que puede estar combinado de diversas maneras contribuyendo a la capacidad calorífica del carbón o puede estar combinado con oxígeno en forma de humedad. Los compuestos que forman cada elemento dentro de la roca tienen un impacto directo en la potencia calorífica de esta. Así, dos análisis pueden revelar una composición en peso similar en dos muestras de carbón pero potencias caloríficas distintas. Es por esta razón que se utiliza una medida experimental del combustible mediante un calorímetro, determinando su potencia calorífica.

Debido a que el carbón contiene hidrógeno hay que discernir entre potencia calorífica superior (PCS) y potencia calorífica inferior (PCI).

La combustión del hidrógeno produce vapor de agua, que se escapará por la chimenea a la temperatura de los gases de combustión. La caldera de vapor que va a operar en la central no dispone de un proceso de recuperación completa de la energía contenida en el vapor de agua proveniente del hidrógeno (no confundir

con el vapor de agua del ciclo de potencia), sin embargo si dispone de un economizador para un mejor aprovechamiento de la energía del GC.

El PCI, considera la pérdida de esta energía en su totalidad. El PCS contempla la energía liberada durante la combustión a volumen constante, haciendo condensar el vapor producido y recuperando su calor. El PCS excede al PCI en la energía necesaria para evaporar el agua formada.

En los cálculos correspondientes a la transmisión de energía en la central se utilizará el PCS y el rendimiento de la caldera diseñada, tal y como recomienda la ASME (ASME, 2013).

El combustible de diseño se tiene una PCS de 25,596 kJ/kg y una PCI de 22,138 kJ/kg (ver Anexo de Materia Prima).

### **6.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL COMBURENTE**

---

El comburente que utiliza la central es aire atmosférico, que para el balance de materia se considera como ATS más la humedad del ambiente.

La humedad del aire varía considerablemente en las diferentes estaciones del año, pero dado que solo afecta al rendimiento de la caldera y su influencia es menor del 0.13% sobre el total (Generadores de vapor: Mantenimiento periódico, 1993), no supone un problema en el proceso y solo modificará ligeramente la cantidad de combustible que se consume.

El valor de diseño que se considera para la humedad es el valor medio de la localidad proporcionado en el Anexo de Localización.

---

## **6.2 CICLO RANKINE REGENERATIVO CON SOBRECALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO**

---

La central opera con un circuito cerrado agua-vapor que sigue un ciclo Rankine para producir potencia. La esencia termodinámica del ciclo reside en la baja necesidad energética requerida para aumentar la presión del agua en fase líquida (bajo consumo en bombeo), contrapuesta a la altísima potencia que se obtiene en la caída de presión y temperatura del vapor, acorde con la definición de trabajo hidrostático de un fluido mostrada en la ecuación E 6:1. El cambio volumétrico de un líquido al aumentar/disminuir su presión es muy inferior al que experimenta un gas:

$$W = - \int_{V_I}^{V_F} P \cdot dV \quad E 6:1$$

El ciclo Rankine opera con cuatro equipos: turbina, condensador, bomba y caldera de vapor. Idealmente el fluido transcurre por cuatro estados mediante dos isoentrópicas (intercambio de trabajo) y dos isóbaras (intercambio de calor) como muestra en el diagrama T-s en la Figura 6-1.

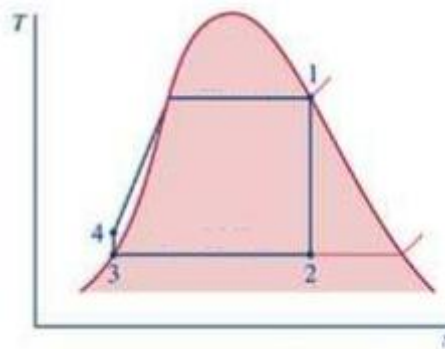


Figura 6-1 Diagrama temperatura-entropía del ciclo Rankine ideal (Moran, y otros, 2012)

Sin embargo, la presencia de irreversibilidades en los procesos y los diferentes requerimientos de los equipos disminuyen el rendimiento conseguido. Para aumentar la eficiencia térmica del ciclo y mejorar la viabilidad tecnológica de éste se realizan tres modificaciones.

- **Sobrecalentamiento:** La turbina es un equipo de máxima importancia cuyos álabes se deterioran rápidamente si se trabaja con un vapor de bajo título. Esto es, si en algún momento del proceso el fluido está en estado de equilibrio en la curva de líquido-vapor y el vapor húmedo interacciona con las partes de la turbina. Para evitar este fenómeno, se eleva la temperatura del agua por encima de la curva de saturación, consiguiendo un vapor de alto contenido energético que apenas condense una vez pierda presión y baje su temperatura (Figura 6-II). Esto se conoce como sobrecalentamiento del vapor y mejora el rendimiento neto del ciclo. Para introducir esta técnica en el proceso la caldera de vapor necesita incluir un sobrecalentador.

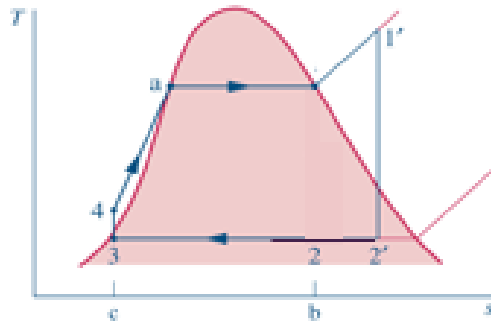


Figura 6-II Diagrama termodinámico  $T$ - $s$  del ciclo Rankine con sobrecalentamiento (Moran, y otros, 2012)

- **Recalentamiento:** Esta técnica combinada con la utilización de una turbina de diseño avanzado permite trabajar con vapor a alta presión para alcanzar un mejor aprovechamiento entálpico del fluido sin tener que trabajar con vapor de bajo título (Figura 6-III). El vapor que sale de la caldera entra en una primera zona de la turbina preparada para trabajar a alta presión. Sale a una presión intermedia y se reconduce de vuelta a la caldera para volverse a calentar en el recalentador aprovechando el poder calorífico convectivo del GC. Una vez recalentado, el vapor pasa a la zona de la turbina que trabaja a baja presión para obtener todo el trabajo posible del sistema.

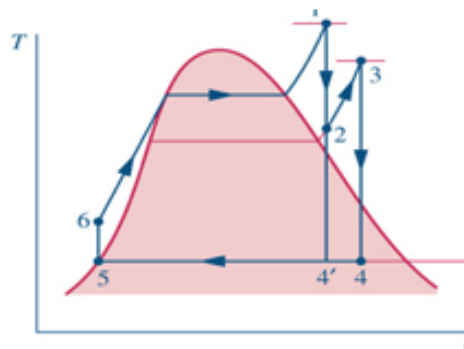


Figura 6-III Diagrama termodinámico  $T$ - $s$  del ciclo Rankine con recalentamiento (Moran, y otros, 2012)

- **Regeneración:** Consiste en el sangrado o extracción de corrientes de vapor desde la turbina para aprovechar su calor latente para el precalentamiento del agua fría proveniente del condensador (Figura 6-IV). Se puede trabajar con intercambiadores tanto abiertos como cerrados, que además se pueden diseñar para que cumplan la función de eliminar el oxígeno que se pueda encontrar disuelto en el agua.

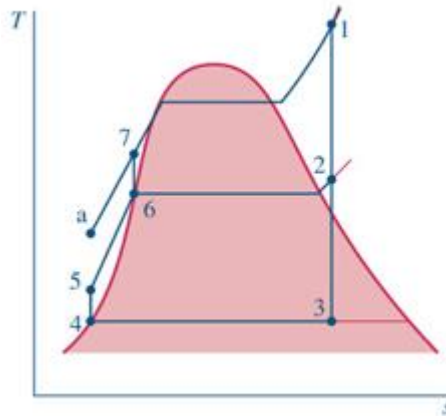


Figura 6-IV Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo (Moran, y otros, 2012)

El ciclo Rankine de la central opera con un rendimiento del 39% y presenta la forma mostrada en la Figura 6-V.

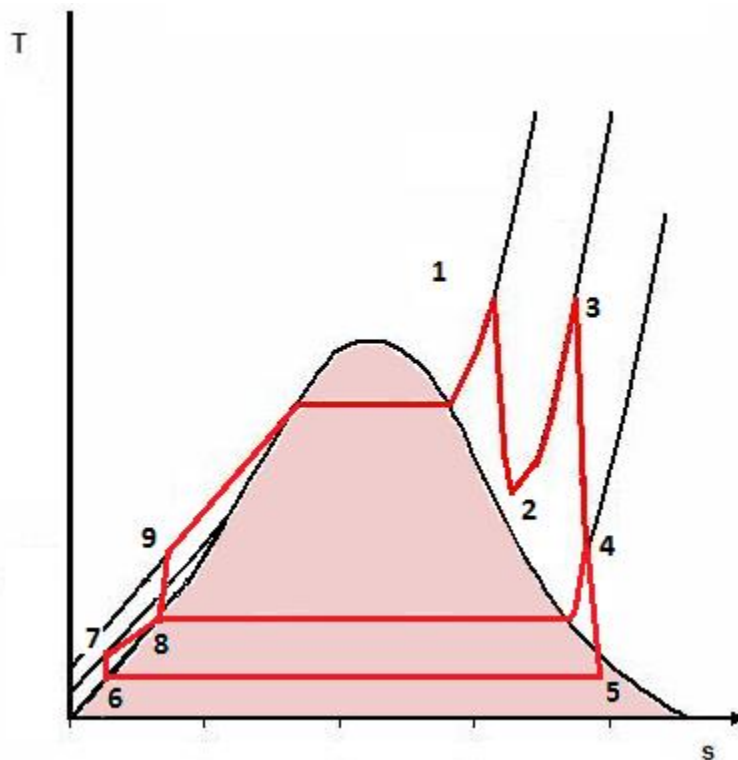


Figura 6-V Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento que opera en la central

### **6.2.1 VAPOR SOBRECALENTADO**

---

Desde un punto de vista termodinámico, cuanto mayor sea la presión y la temperatura del fluido al salir de la caldera más aumenta el rendimiento térmico del ciclo (ver Anexo de Diseño de Equipo Principal). Sin embargo, al ser el fluido de trabajo el agua, una de las limitaciones que se presentan es la dificultad tecnológica y económica de trabajar con esta en el estado de fluido supercrítico que alcanza al superar el punto crítico.

Para maximizar el rendimiento térmico sin comprometer las viabilidades económica y tecnológica de la central, el vapor sobrecalentado sale de la caldera de vapor a 550°C y 170 bar.

### **6.2.2 VAPOR RECALENTADO**

---

Las recomendaciones de optimización para maximizar el rendimiento de las zonas de trabajo de la turbina establecen que se utilice tan solo un recalentamiento intermedio con una presión de vapor recalentado de entre 1/4 y 1/3 de la presión que alcanza el vapor sobrecalentado. Se elige una presión de 42 bar debido al tipo de turbina de vapor elegida (Siemens AG, 2010).

### **6.2.3 REGENERACIÓN: EXTRACCIÓN DE VAPOR DE TURBINA**

---

Cada extracción de vapor supone un ligero aumento del rendimiento térmico del ciclo Rankine a costa de un mayor número de equipos y por tanto de coste. Por este motivo se va a trabajar con una única corriente de extracción hacia un desgasificador.

Al desviar parte de la corriente del vapor se reducen los requerimientos del condensador: No necesita ser tan grande ni necesita tanto caudal de agua de refrigeración.

---

## 6.3 CALDERA DE VAPOR: CV-01

---

La caldera de vapor es un equipo complejo que cumple varias funciones. Su objetivo es albergar la reacción química y lograr la mayor eficiencia térmica posible para generar 1,247,000 kg de vapor de agua cada hora.

Existen tres tipos de caldera de vapor: de vasija, pirotubular o acuotubular.

Para cumplir y optimizar las necesidades de sobrecalentamiento y recalentamiento del ciclo de la central, se va a emplear una caldera de tipo acuotubular que trabaje a 170 bar. Esto significa que la transmisión de calor en la caldera se logra mediante la distribución de superficies termo-intercambiadoras configuradas por bancos o haces de tubos por los cuales circula agua y vapor a esa presión.

El material que se elige en todos los casos para la conformación de los tubos es acero inoxidable austenítico sin soldadura con una composición en peso de 18Cr-9Ni-2W—Nb-V-Ni.

El sistema de circulación de una caldera acuotubular permite trabajar a la alta presión fijada, lo que favorece el recalentamiento y ofrece una mayor versatilidad en la disposición de los componentes termo-intercambiadores además de mejorar la eficiencia de estos. También permite accesibilidad a los tubos de cara al mantenimiento y compacidad suficiente para optimizar la transmisión de calor (Severns, y otros, 1982).

La circulación del agua por tubos será consecuencia de la diferencia de densidades entre las ramas calientes y frías del circuito. Es lo que se conoce como circulación natural.

La caldera de vapor diseñada alcanza una eficiencia térmica del 82% y se divide en tres partes en función de los mecanismos de transmisión de calor predominantes:

### 6.3.1 HOGAR

---

Se trata de un gran volumen abierto donde se dispara la mezcla de aire con carbón pulverizado y se produce la combustión. Se ha diseñado para que tenga la capacidad de asimilar un flujo másico de 182,330 kg/h de combustible. Trabaja a una temperatura de 1400 °C y alcanza una difusividad térmica de 305 kW/m<sup>2</sup>.

En el diseño propuesto, las paredes de cerramiento se hallan cubiertas por una única fila de tubos que refrigeran el hogar mediante la circulación de agua saturada a 170 bar de presión y que utiliza la energía absorbida por radiación para cambiar de fase.

Los tubos que forman éste generador de vapor tienen el tamaño normalizado acorde a la estandarización ASTM A1016/A1016M-14 (ASTM International, 2015) que se muestran en la Tabla 6-II. Están unidos por una membrana y por capas de material refractario cuya emisividad se considera de 0.7. Las dimensiones del hogar se muestran en la tabla Tabla 6-III.

GENERADOR DE VAPOR				
Espesor en BWG		Diámetro externo	Espaciado transversal	Unidades
10	2.98	63.50	24.4	mm
Área externa total			974	m <sup>2</sup>

*Tabla 6-II Dimensiones del generador de vapor*

HOGAR		
50 columnas por pared en 1 fila		
Largo	4.5	m
Ancho	4.5	m
Alto	30.5	m
Volumen	609.8	m <sup>3</sup>

*Tabla 6-III Dimensiones del hogar*

El GC que circula por el hogar se enfría hasta 1260°C que es a la temperatura a la que choca contra las tres primeras filas del sobrecalentador.

### **6.3.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO: S-01**

---

Del flujo másico de diseño de carbón pulverizado disparado al hogar, 39,267 kg/h es ceniza inerte que se retira y se deja enfriar para su posterior almacenamiento.



### 6.3.3 PANTALLA DE CHOQUE

Esta zona la forman los haces de tubos del sobrecalentador que marcan la frontera entre el hogar y el resto de la caldera de vapor. Absorben calor del GC a través de los mecanismos de convección y de radiación. Las dimensiones del sobrecalentador se especifican en la Tabla 6-IV.

SOBRECALENTADOR				
Espesor en BWG		Diámetro externo	Espaciado transversal	Unidades
10	2.98	50.8	127	mm
Área de la zona de choque			588	m <sup>2</sup>
Área externa total			758	m <sup>2</sup>
Largo			7.6	m
Ancho			4.6	m
Alto			4.6	m
Volumen			158.9	m <sup>3</sup>

Tabla 6-IV Dimensiones del sobrecalentador

### 6.3.4 BANCO DE CONVECCIÓN

Son los haces de tubos que configuran el sobrecalentador, el recalentador, y el economizador. El mecanismo predominante de transmisión de calor es la convección.

RECALENTADOR				
Espesor en BWG		Diámetro externo	Espaciado transversal	Unidades
10	2.98	50.8	127	mm
Área externa total			603	m <sup>2</sup>
Largo			4.6	m
Ancho			4.6	m
Alto			6.0	m
Volumen			158.9	m <sup>3</sup>

Tabla 6-V Dimensiones del recalentador

ECONOMIZADOR				
Espesor en BWG		Diámetro externo	Espaciado transversal	Unidades
10	2.98	50.8	127	mm
Área externa total			1788	m <sup>2</sup>
Largo			4.6	m
Ancho			4.6	m
Alto			17.9	m
Volumen			158.9	m <sup>3</sup>

Tabla 6-VI Dimensiones del economizador

### 6.3.5 MOLINOS DE PULVERIZACIÓN: MP-01

---

Formado por el conjunto de equipos de pretratamiento de carbón: cinta transportadora, tolva y molino de bolas. Trituran el carbón hasta que alcanza el tamaño óptimo de partícula. El flujo másico que estos equipos deben procesar y enviar a la caldera es de 182,330 kg/h.

### 6.4 TURBINA DE VAPOR: T AP-01 y T BP-01

---

La turbina es el equipo que aprovecha la energía contenida en el vapor a alta presión y temperatura y la transforma en energía mecánica a través de álabes conectados a un rotor.

El movimiento rotatorio se produce debido a la fuerza centrífuga causada por el cambio de dirección del vapor al ser eyectado a alta velocidad y conectar con los álabes colocados a lo largo de la circunferencia del rotor.

El requerimiento fundamental de la turbina es que tenga la capacidad de transformar 400 MW de energía disponible en el fluido en energía mecánica y permita la extracción de vapor propuesta.

Para esta finalidad se recomienda el modelo de turbina de vapor SST-5000 Siemens, cuyas características se muestran en la Tabla 6-VII y Tabla 6-VIII.

<b>Turbine series</b>	Combined high-pressure/intermediate-pressure reverse-flow (HI) cylinder and low-pressure (L) cylinder for 50 Hz and 60 Hz
<b>Plant type</b>	Combined cycle and conventional steam
<b>Output range</b>	120 MW to 500 MW for combined cycle applications 120 MW to 750 MW for conventional steam applications
<b>Main steam (Typical parameters)</b>	Temperature: up to 600 °C / 1,112 °F Pressure: up to 190 bar / 2,756 psi
<b>Reheat steam (Typical parameters)</b>	Temperature: up to 600 °C / 1,112 °F
<b>Exhaust areas</b>	50 Hz: 5 m <sup>2</sup> to 16 m <sup>2</sup> 27.5 inches to 56 inches* 60 Hz: 4.4 m <sup>2</sup> to 11.1 m <sup>2</sup> 24 inches to 47 inches*
* Last blade profile length	

Tabla 6-VII Parámetros de la turbina SST-5000 (Siemens AG, 2010)

Tipo de planta	Ciclo convencional
Rango de potencia	Desde 120 MW hasta 750 MW
Vapor principal	T: hasta 600 °C
	P: hasta 190 bar
Vapor recalentado	T: hasta 600 °C

Tabla 6-VIII Parámetros de la turbina SST-5000. Traducido del inglés

Utilizando este modelo y operando en condiciones sub-críticas se consigue una eficiencia de turbina del 79% (Siemens AG, 2010).

El vapor que sale de la caldera a 550°C y 170 bar se lleva a la zona de alta presión (zona AP) de la turbina (que tolera hasta 600°C y 190 bar) de donde se obtienen 108 MW y se extrae a 45 bar. Esta presión de salida viene fijada por la presión que se necesita de vapor recalentado teniendo en cuenta las posibles caídas de presión en el recalentador de la caldera.

El vapor recalentado sale en condiciones de temperatura y presión de 550°C y 42 bar y se conduce a la zona de baja presión (zona BP) donde disminuye el título de parte del vapor y alcanza la presión de trabajo del condensador mientras que una fracción de 276,820 kg/h se extrae a 16 bar y se lleva al desgasificador.

De la zona BP se obtienen 305 MW, el esquema de la turbina completa se muestran en la Figura 6-VI.

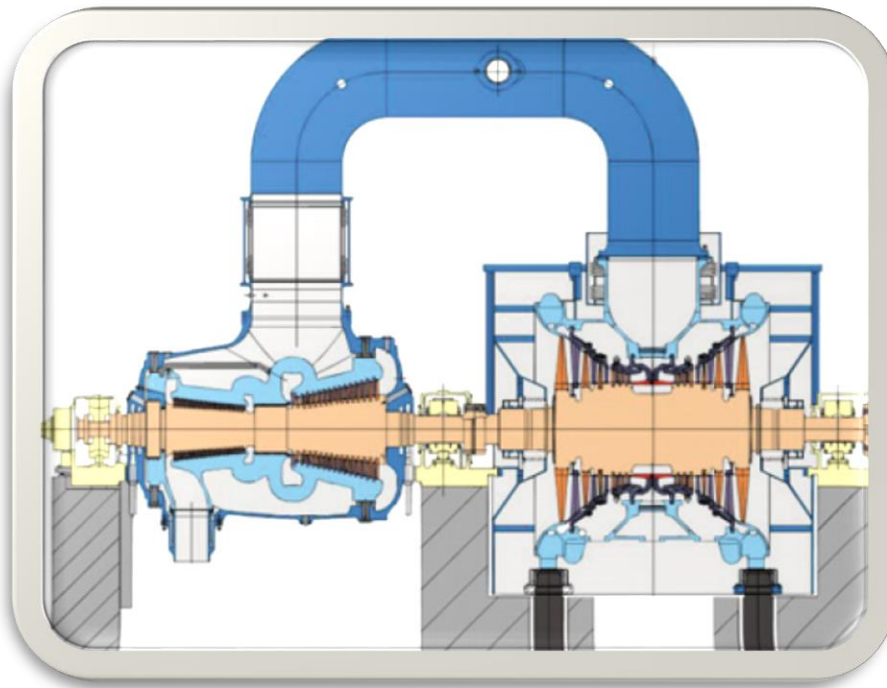


Figura 6-VI Esquema de la SST-5000 (Siemens AG, 2010)

---

## 6.5 ALTERNADOR: A-01

---

El sistema eléctrico de la planta consta de un alternador y de transformadores de potencia. El alternador se encuentra acoplado al rotor de la turbina y aprovecha la energía mecánica de esta para producir electricidad mediante inducción electromagnética. Ya que en los alternadores no se experimentan pérdidas energéticas mayores del 5% (The Babcock & Wilcox Co, 2007), se considera que la conversión de energía eléctrica a energía mecánica se produce de manera ideal –el rendimiento del alternador es del 100%.

---

## 6.6 CONDENSADOR: CD-01

---

El condensador tiene dos funciones principales:

- Recuperar el fluido de trabajo en forma de condensado.
- Trabajar a presión reducida con el vapor proveniente de la turbina para optimizar la eficiencia del ciclo.

Es en el condensador donde se produce la mayor pérdida del aprovechamiento entálpico del agua-vapor en el ciclo convencional.

El vapor exhausto proveniente de la zona de la turbina de baja presión que no se haya sangrado se necesita en estado líquido para bombearlo de nuevo a la caldera a altas presiones. Para conseguir el cambio de fase se retira energía del vapor húmedo mediante la cesión de calor a un refrigerante. Todo este calor es energía no aprovechada y por tanto perdida.

Desde el punto de vista termodinámico, la manera de minimizar estas pérdidas es operando a la mínima presión posible en el condensador, de manera que la turbina pueda extraer la máxima potencia. El cambio de fase en sí ya produce un vacío parcial, al tener una enorme cantidad de vapor que reduce el volumen bruscamente al condensar.

Ya que en el condensador se trabaja con vapor saturado, la presión de saturación en el cambio de fase viene determinada por la temperatura de saturación. Esto supone que cuanto menor sea la temperatura a la que se dispone el refrigerante, menor presión de trabajo se podrá alcanzar en el condensador.

Sin embargo, alcanzar presiones tan bajas se traduce en una disminución del título del vapor, lo que perjudica a su vez la integridad de la turbina. Además, el trabajar en el equipo por debajo de la presión atmosférica permite que el aire penetre en el sistema y que el oxígeno que contiene se disuelva en el agua fría (a menor temperatura del agua mayor es la solubilidad del oxígeno).

El aire entrante conlleva el aumento de la presión en el condensador y por tanto el aumento de la temperatura de condensación del vapor –disminuyendo el rendimiento del ciclo. Por esta razón el condensador cuenta con evacuadores de aire para purgar las cantidades que entran en el equipo.

Acorde con la comparación realizada en el anexo de balances de materia y energía la presión del fluido de trabajo en el condensador es de 0.06 bar. Y su temperatura de saturación 36°C. La presión del refrigerante es de 1 bar.

El refrigerante utilizado es agua a una temperatura de 11°C con un flujo volumétrico de 14,324 m<sup>3</sup>/h que trabaja en un circuito semi-cerrado a contracorriente con un sistema de bombas y una torre de refrigeración. El agua de refrigeración se controla para que permita extraer la temperatura del vapor sin que su temperatura sobrepase los 49 °C.

---

### **6.7 BOMBAS: B-01 y B-02**

---

El sistema de bombeo del fluido de trabajo opera con dos bombas de 55% de rendimiento cada una.

La primera bomba se ubica después del condensador. Su función es enviar 970,000 kg/h de flujo de condensado al desgasificador para rencontrar el caudal de agua con la extracción de vapor. Eleva la presión de 0.06 bar hasta la presión de operación del desgasificador.

La segunda bomba consume potencia en elevar la presión de 1,247,000 kg/h de agua que proviene del desgasificador hasta los 170 bar de la isóbara de absorción de calor del ciclo.

---

### **6.8 DESGASIFICADOR: DG-01**

---

El desgasificador permite mezclar las corrientes de vapor y agua saturada con el correspondiente intercambio de calor. Su función principal es la de eliminar el oxígeno disuelto en el agua a baja temperatura que el condensador no ha podido eliminar.

La presión de operación del desgasificador es de 16 bar (The Babcock & Wilcox Co, 2007), que es una presión de trabajo común para este tipo de equipo.

---

## 6.9 BIBLIOGRAFÍA

---

**American Society for Testing and Materials. ASTM International.** 2015. *ASTM A1016/A1016M-14; Standard Specification for General Requirements for Ferritic Alloy Steel, Austenitic Alloy Steel, and Stainless Steel Tubes.* West Conshohocken : American Society for Testing and Materials. DOI 10.1520/A0249\_A0249M-14A

**American Society of Mechanical Engineers. ASME.** 2013. *Performance Test Codes: PTC 4 – Fired Steam Generators.* s.l. : American Society of Mechanical Engineers.

**Silva, F. P.** 1993. *Generadores de vapor: Mantenimiento periódico.* Oviedo : Universidad de Oviedo. Generadores y motores térmicos, v. 544, p. 16-20. ISBN 84-88034-36-9.

**Moran, M. J. y Shapiro, H. N.** 2012. *Fundamentos de Termodinámica Técnica.* 4ª ed. Barcelona : Reverté. ISBN 84-291-4313-0.

**Severns, W. H., Degler, H. E. y Miles, J. C.** 1982. *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases.* [trad.] José Batlle Gayán. 5ª ed. Barcelona : Editorial Reverté. ISBN 84-291-4890-6.

**Siemens AG.** 2010. Siemens Steam Turbine SST-5000 Series. [Online] 2010. [http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/steam-turbines/SST-5000/steam-turbine-sst-5000-series\\_brochure.pdf](http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/steam-turbines/SST-5000/steam-turbine-sst-5000-series_brochure.pdf).

**The Babcock & Wilcox Co.** 2007. *Steam, Its Generation and Use.* 35<sup>th</sup> ed. Nueva York : s.n. ISBN 0963457012.





GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 7:  
BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>7</b>	<b>BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.....</b>	<b>7-1</b>
<b>7.1</b>	<b>NOMENCLATURA Y CONSIDERACIONES .....</b>	<b>7-1</b>
<b>7.2</b>	<b>EXPRESIONES DE CÁLCULO .....</b>	<b>7-3</b>
<b>7.3</b>	<b>BALANCES AL CICLO DE POTENCIA .....</b>	<b>7-4</b>
7.3.1	BALANCES A LA TURBINA DE VAPOR .....	7-5
7.3.1.1	ZONA DE ALTA PRESIÓN .....	7-6
7.3.1.2	ZONA DE BAJA PRESIÓN .....	7-8
7.3.2	BALANCES AL CONDENSADOR .....	7-10
7.3.2.1	PRESIÓN DE OPERACIÓN.....	7-11
7.3.3	BALANCES A LAS BOMBAS .....	7-12
7.3.3.1	BOMBA-01 .....	7-13
7.3.3.2	BOMBA-02 .....	7-13
7.3.4	BALANCES AL DESGASIFICADOR .....	7-14
<b>7.4</b>	<b>REQUERIMIENTOS DEL CICLO.....</b>	<b>7-16</b>
7.4.1	RENDIMIENTO DEL CICLO RANKINE .....	7-17
<b>7.5</b>	<b>BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR .....</b>	<b>7-18</b>
7.5.1	BALANCE DE ENERGÍA .....	7-18
7.5.1	BALANCE DE MATERIA .....	7-20
7.5.2	RESUMEN DE LOS BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR....	7-24
<b>7.6</b>	<b>RENDIMIENTO DE LA CENTRAL.....</b>	<b>7-24</b>
<b>7.7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>7-25</b>
<b>7.8</b>	<b>SCRIPT DESARROLLADO PARA RESOLVER LOS BALANCES ...</b>	<b>7-26</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 7-I Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento que opera en la central .....	7-4
Figura 7-II Turbina de vapor - zona AP .....	7-6
Figura 7-III Turbina de vapor - zona BP y alternador .....	7-8
Figura 7-IV Condensador .....	7-10
Figura 7-V Bomba-01 .....	7-13
Figura 7-VI Bomba-02 .....	7-13
Figura 7-VII Desgasificador .....	7-14
Figura 7-VIII Caldera de vapor, equipos de molienda y tanque de almacenamiento .....	7-18

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 7-I Estados: 1 y 2 .....	7-7
Tabla 7-II Estados: 3, 4 y 5.....	7-8
Tabla 7-III Estados: 5, 6, 14 y 15.....	7-10
Tabla 7-IV Comparación de presiones del condensador.....	7-12
Tabla 7-V Estados: 6 y 7 .....	7-13
Tabla 7-VI Estados: 8 y 9 .....	7-14
Tabla 7-VII Estados 4, 7 y 8 .....	7-15
Tabla 7-VIII Caudal y entalpía de las corrientes del ciclo de potencia .....	7-16
Tabla 7-IX Potencia generada y consumida.....	7-17
Tabla 7-X Características del vapor saturado y líquido saturado .....	7-18
Tabla 7-XI Estados: 9 y 1 .....	7-19
Tabla 7-XII Calor de los sub-equipos de la caldera.....	7-19
Tabla 7-XIII Cantidades de los elementos en el carbón de diseño.....	7-20
Tabla 7-XIV Flujo másico y molar de los elementos del comburente .....	7-21
Tabla 7-XV Flujo másico y molar de los elementos alimentados a la caldera presentes en combustible y comburente a excepción de la ceniza .....	7-22
Tabla 7-XVI Reacciones de combustión en la caldera .....	7-23
Tabla 7-XVII Flujo y composiciones en peso y en moles del GC .....	7-23
Tabla 7-XVIII Caudal y entalpía. de las corrientes e la caldera de vapor .....	7-24

---

---

## **7 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA**

---

---

---

### **7.1 NOMENCLATURA Y CONSIDERACIONES**

---

Consideraciones generales:

- Se trabaja en régimen estacionario.
- El criterio de signos utilizado para la cesión y absorción de energía es el criterio egoísta de signos. Signo negativo indica energía cedida por el sistema –signo positivo energía absorbida.
- Las condiciones de referencia elegidas para el estudio de la central se fijan en  $T= 25^{\circ}\text{C}$ ,  $P= 1$  bar y fase el estado de agregación normal a esas condiciones.
- Las condiciones atmosféricas se consideran invariantes.
- El agua que circula en el ciclo de potencia no tiene ningún tipo de impureza.
- El fluido refrigerante es agua sin impurezas procedente de una torre de refrigeración.
- Las condiciones del suministro del fluido refrigerante se mantienen constantes.
- No se estudia el proceso de enfriamiento del fluido refrigerante en la torre de refrigeración.
- El ciclo de potencia es un ciclo cerrado y por tanto no hay cambio de materia con el exterior. No se pierde fluido de trabajo.
- En los cambios de fase del ciclo Rankine planteado las caídas de presión son bajas comparadas a las presiones de trabajo y por tanto despreciables.
- El calor cedido/absorbido por el gas de combustión (GC) se realiza considerando de condiciones de presión constante.
- No se estudia el tratamiento del GC una vez que abandona la caldera de vapor.

El resto de consideraciones aplicadas en cada equipo se explican en el apartado correspondiente.

## Nomenclatura y referencia:

- La palabra “estado” hace referencia a la localización de un punto del ciclo de potencia en el diagrama T-s y por tanto las magnitudes que lo definen son específicas: dependen de la cantidad de fluido de trabajo.
- La palabra “corriente” hace referencia al ciclo de potencia operativo en la central.
- La entalpía de una corriente es siempre su variación respecto a las condiciones de referencia.
- Para indicar entalpía/entropía expresada por unidad de masa (magnitud específica) se utiliza letra minúscula. El trabajo y el calor específicos se expresan con un guion horizontal por encima de la letra.
- La entalpía específica se mostrará con una cifra significativa.
- La entropía específica se mostrará con cuatro cifras significativas.
- Cualquier magnitud expresada por unidad de tiempo se representa mediante su símbolo correspondiente con un punto por encima de éste.
- Se trabaja por unidad de tiempo tanto para la masa del agua ( $\dot{m}_w$ ) como de combustible ( $\dot{m}_{FUEL}$ )
- La resolución de los balances se divide en dos partes. En los balances al ciclo se definen los estados termodinámicos y posteriormente se resuelven las corrientes. La segunda sección comprende los balances de materia y energía al combustible, comburente y GC.

## Tablas de agua-vapor:

Las propiedades del agua-vapor se encuentran tabuladas en el libro Fundamentos de Termodinámica Técnica (Moran, y otros, 2012) y se obtienen de esta referencia. Al tratarse de condiciones de referencia diferentes a las fijadas para el resto de la central, se tiene especial cuidado de solo comparar los intercambios de energía, que son independientes de las condiciones de referencia seleccionadas.

Para evitar trabajar con interpolaciones de propiedades entres estados y perder precisión en los resultados se utiliza la herramienta “*NIST Chemistry WebBook*” desarrollada por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2011).

El software que se utiliza para resolver los problemas de cálculo es MatLab. El script completo se incluye al final del anexo.

En el **Plano 4** se muestra el diagrama de proceso de la central térmica y se visualizan los resultados obtenidos en los siguientes apartados.

---

## 7.2 EXPRESIONES DE CÁLCULO

---

Conservación de materia en régimen estacionario:

$$\sum \dot{m}_{entrada} = \sum \dot{m}_{salida} \quad E\ 7:1$$

Primer principio de la Termodinámica para sistemas cerrados:

$$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p = -W + Q \quad E\ 7:2$$

E 7:2

$\Delta U$ : Variación de energía interna (kJ)

$\Delta E_k$ : Variación de energía cinética (kJ)

$\Delta E_p$ : Variación de energía potencial (kJ)

W: Trabajo realizado por el sistema (kJ)

Q: Calor absorbido por el sistema (kJ)

Primer principio de la Termodinámica para volúmenes de control:

$$\Delta h + \Delta e_k + \Delta e_p = -\bar{W} + \bar{Q} \quad E\ 7:3$$

E 7:3

$\Delta h$ : Variación de entalpía (kJ/kg)

$\Delta e_k$ : Variación de energía cinética (kJ/kg)

$\Delta e_p$ : Variación de energía potencial (kJ/kg)

$\bar{W}$ : Trabajo de flujo (kJ/kg)

$\bar{Q}$ : Calor absorbido por el sistema (kJ/kg)

Para caracterizar los grados de libertad de un estado se aplica la regla de las fases de Gibbs:

$$F + L = C + 2$$

E 7:4

E 7:4

F: Número de fases

L: Grados de libertad

C: Componentes

El ciclo de potencia solamente opera con un componente. Por esta razón, cuando el estado tenga una fase, serán necesarias dos magnitudes para caracterizarlo, mientras que para un estado en equilibrio de dos fases una sola magnitud será suficiente.

---

### 7.3 BALANCES AL CICLO DE POTENCIA

---

El ciclo Rankine con el que opera cada grupo de la central se muestra en la Figura 7-1.

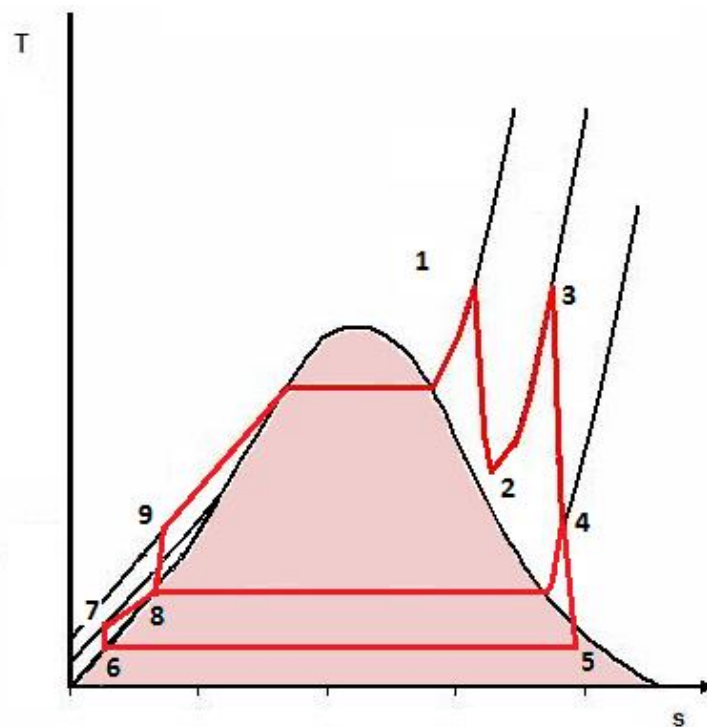


Figura 7-1 Diagrama termodinámico T-s del ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento que opera en la central



Se requiere obtener 400 MW del ciclo y se conocen los rendimientos de las bombas, de la turbina y la presión de operación de desgasificador. También se ha determinado mediante el primer paso del diseño de la caldera la presión de la isóbara de absorción de calor del ciclo.

- La principal incógnita es el requerimiento de caudal de vapor proveniente de caldera.

Se desconoce:

- La fracción de regeneración de vapor
- El caudal de refrigerante del ciclo
- La potencia consumida por las bombas
- La potencia obtenida en cada zona de la turbina
- La presión de operación del desgasificador
- Los estados 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

La resolución del ciclo se realiza definiendo los estados secuencialmente mediante el balance de energía.

Se inicia en el estado 1 y progresivamente se caracterizan todos los estados hasta el 6 sin caracterizar el 4. Seguidamente se resuelve el estado 9 y se opera inversamente hasta llegar al estado 4 y 7. Finalmente, todas las expresiones que dependen del caudal másico de agua-vapor circulante se resuelven.

Los siguientes apartados se dedican a ilustrar el procedimiento y resolver los estados termodinámicos. Los resultados de las corrientes del ciclo se exponen en el apartado 7.4.

### **7.3.1 BALANCES A LA TURBINA DE VAPOR**

- Rendimiento isoentrópico de la turbina: 79%
- Variación de energía potencial considerada nula: No hay cambio de altura.
- Variación de energía cinética despreciable: El cambio en la velocidad del vapor no es significativo termodinámicamente en comparación con el resto de términos.
- La potencia producida en la turbina se transforma en energía eléctrica con un rendimiento del 100%.

El rendimiento isoentrópico de una turbina se define como:

$$\eta_t = \frac{W_{Real}}{W_{ISO}} \quad E\ 7:5$$

El primer principio aplicado al volumen de control de la turbina con las consideraciones propuestas se simplifica hasta E 7:6.

$$\Delta h = -\bar{W} + \bar{Q} \quad E\ 7:6$$

### 7.3.1.1 ZONA DE ALTA PRESIÓN

---

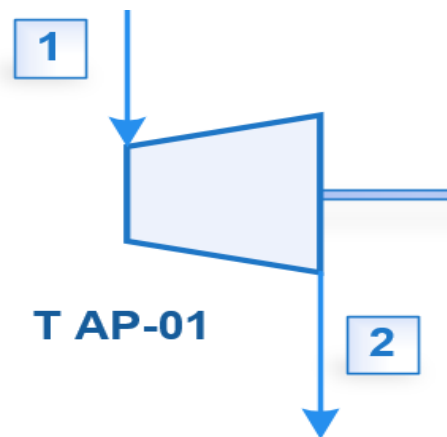


Figura 7-II Turbina de vapor - zona AP

El estado 1 del ciclo es vapor sobrecalentado proveniente de la caldera y se conoce su temperatura y su presión.

Del estado 2 se conoce solamente la presión. Se resuelve considerando un primer proceso de expansión isoentrópica hasta llegar al estado 2 ideal. Seguidamente, se aplica el rendimiento isoentrópico de la turbina (E 7:5) para despejar la entalpía del estado 2 real y así definirlo. Ambos estados se reflejan en la Tabla 7-I.

A continuación, se explica la resolución del problema paso a paso como ejemplo y referencia para los demás casos:

En un proceso isoentrópico no se tienen irreversibilidades, luego  $s_1=s_{2s}$  y por tanto  $Q=0$  kJ. El primer principio queda reducido a la expresión E 7:7.

$$\bar{W}_{ISO} = h_{2s} - h_1 \quad E\ 7:7$$

Dónde  $h_{2s}=3039.6$  kJ/kg obtenida de tablas de vapor sobrecalentado para  $P_2=45$  bar y  $s_{2s}=s_1=6.4411$  kJ/kg·K.

Aplicando la definición de rendimiento isoentrópico para la turbina (E 7:5) se despeja  $h_2$  como se muestra a continuación:

$$h_2 = h_1 + \eta_t (h_{2s} - h_1)$$

$$h_2 = 3122.1 \text{ kJ/kg}$$

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg ·K)
1	Vapor sobrecalentado	170	550	3432.6	6.4411
2	Vapor sobrecalentado	45	366	3122.1	6.5797

Tabla 7-1 Estados: 1 y 2

Una vez se tienen los dos estados definidos (Tabla 7-1) se aplica el primer principio (E 7:3) para obtener el trabajo de la zona AP:

$$\bar{W}_{tAP} = h_2 - h_1 = -310 \text{ kJ/kg}$$

En términos de potencia depende del caudal de vapor:

$$\dot{W}_{tAP} = -310 \dot{m}_w$$

### 7.3.1.2 ZONA DE BAJA PRESIÓN

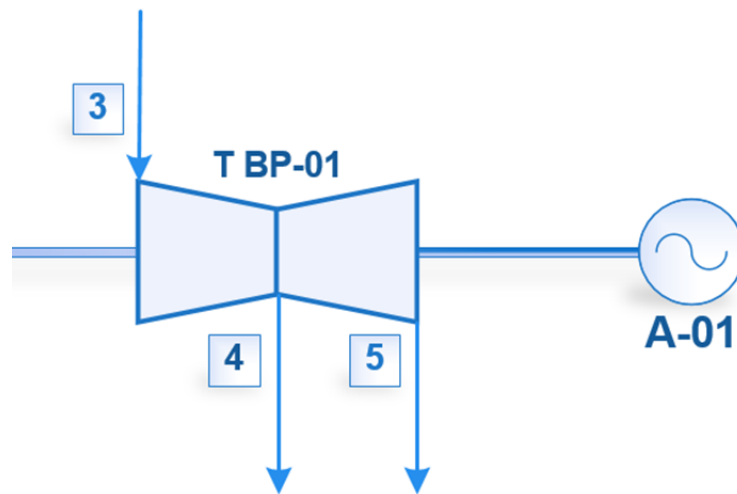


Figura 7-III Turbina de vapor - zona BP y alternador

Solo puede resolverse después de fijar la presión de operación del condensador y del degasificador para determinar las condiciones del vapor exhausto y de la extracción de vapor que salen de la turbina.

La temperatura del recalentamiento se conoce, y considerando una caída de presión de 3 bar se define el estado 3.

La presión de trabajo del condensador se fija en 0.06 bar (como se explica en la sección 7.3.2.1). Aplicando el rendimiento isoentrópico de la turbina junto con el primer principio análogamente a como se ha realizado en el ejemplo de la zona AP anterior se obtiene  $h_5$ .

La presión de trabajo del degasificador (16 bar, apartado 7.3.4) se obtiene después de haber caracterizado los estados 9 y posteriormente 8. Se trata de la presión de saturación del agua a la temperatura de salida del degasificador. Conociendo  $P_4$  se procede utilizando el rendimiento de la turbina a caracterizar el estado 4.

Las condiciones de las corrientes de vapor que intervienen en la zona BP de la turbina se muestran en Tabla 7-II.

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg · K)
3	Vapor sobrecalentado	42	550	3558.4	7.2112
4	Vapor sobrecalentado	16	298	3303.2	6.8785
5	Equilibrio líquido-vapor	0.06	36	2501.7	8.1193

Tabla 7-II Estados: 3, 4 y 5

Para resolver el balance de materia es necesario conocer el flujo másico de vapor sangrado. Solo se puede calcular cuando se han caracterizado previamente los estados 4, 7 y 8.

Para trabajar con la regeneración, se define la fracción de vapor sangrado:

$$\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_w} = y \quad \frac{\dot{m}_5}{\dot{m}_w} = 1 - y$$

Se calcula aplicando la ecuación E 7:8 deducida a partir del balance de materia a la zona BP y del balance de energía al desgasificador (E 7:12, apartado 7.3.4)

$$y = \frac{h_8 - h_7}{h_4 - h_7} = 0.22 \quad E\ 7:8$$

El trabajo realizado y la potencia obtenida en la zona de baja presión para el vapor que se lleva a condensación es:

$$\bar{W}_{tBPb} = h_5 - h_3 = -1057 \text{ kJ/kg} \quad \dot{W}_{tBPb} = -1057 \dot{m}_w (1 - y)$$

Para el vapor sangrado:

$$\bar{W}_{tBP a} = h_4 - h_3 = -255 \text{ kJ/kg} \quad \dot{W}_{tBP a} = -255 \dot{m}_w y$$

La potencia neta obtenida en la zona BP en función del flujo másico y de la fracción de vapor:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tBP} &= \dot{W}_{tBP a} + \dot{W}_{tBP b} \\ \dot{W}_{tBP} &= -1057 \dot{m}_w + 802 \dot{m}_w y \end{aligned}$$

Sustituyendo la fracción de vapor sangrado:

$$\dot{W}_{tBP} = -881 \dot{m}_w$$

### 7.3.2 BALANCES AL CONDENSADOR

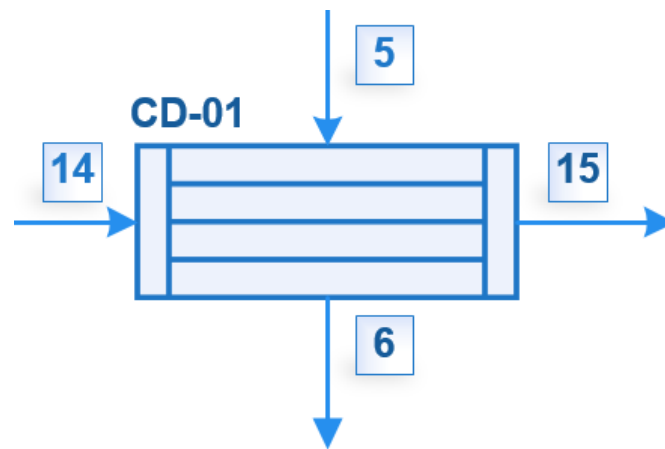


Figura 7-IV Condensador

- Se considera como proceso adiabático.
- El cambio de fase se produce sin caída de presión.

La presión de operación del condensador se fija mediante el procedimiento comparativo explicado en 7.3.2.1. El estado 6 es líquido saturado, luego queda determinado al fijar esta presión. .

El refrigerante del que se dispone es agua en condiciones atmosféricas (11°C, 1 bar) que se calienta como máximo hasta 49 °C. Esta temperatura se fija acorde con las recomendaciones recopiladas en las reglas del pulgar (Wallas, 1990).

El resumen de los estados se muestra en la Tabla 7-III.

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg · K)
5	Equilibrio líquido-vapor	0.06	36	2501.7	8.1193
6	Líquido saturado	0.06	36	151.5	0.5208
14	Líquido subenfriado	1	11	46.3	0.1657
15	Líquido subenfriado	1	49	205.5	0.6915

Tabla 7-III Estados: 5, 6, 14 y 15.

Aplicando el primer principio se calcula el calor que se requiere extraer del sistema:

$$\Delta h = \bar{Q}_{ref} \quad E 7:9$$

$$\bar{Q}_{refrigeración} = h_6 - h_5 = -2350 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{refrigeración} = -2350 \dot{m}_w (1 - y)$$

$$\dot{Q}_{refrigeración} = -1828 \dot{m}_w$$

El refrigerante del que se dispone es agua en condiciones atmosféricas que se calienta como máximo hasta 49 °C. Esta temperatura se fija acorde con las recomendaciones recopiladas en las reglas del pulgar (Wallas, 1990) ya que el estudio de la torre de refrigeración no se realiza.

Aplicando E 7:10 se calcula el flujo másico refrigerante requerido.

$$-\dot{Q}_{refrigeración} = \dot{m}_{H_2O} \cdot (h_{15} - h_{14}) \quad E 7:10$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 11.5 \dot{m}_w$$

El caudal volumétrico de agua requerido por cada kilogramo de vapor producido:

$$\dot{V}_{H_2O \text{ REF}} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} = 0.0115 \dot{m}_w$$

### 7.3.2.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN

---

Se dispone de grados de libertad para fijar la presión del agua de trabajo del ciclo de potencia. Se busca alto título y alta potencia. Las consecuencias de los diferentes valores de la presión se explican en el Anexo de Ingeniería de Proceso.

Trabajando entre los valores recomendados de operación se realiza una comparación y se elige una presión de 0.06 bar al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 7-IV

P (bar)	título isoentrópico	$h_5$ (kJ/kg)	título real	$\bar{W} = h_5 - h_3$ (kJ/h)
0.04	0.84	2463.4	0.96	-1095
0.06	0.86	2501.7	0.97	-1057
0.08	0.87	2529.9	0.98	-1029

Tabla 7-IV Comparación de presiones del condensador

### 7.3.3 BALANCES A LAS BOMBAS

- Rendimiento de las bombas: 55%
- Variación de energía potencial no considerada: Se desconoce la altura de los diferentes equipos y por tanto se incluye en la pérdida de carga.
- Variación de energía cinética despreciable: El cambio en la velocidad del agua no es significativo en comparación con el resto de términos.
- La pérdida de carga se considera como 5 bar. El valor se elige en función a una estimación conservadora debido al desconocimiento de datos del funcionamiento de la red de tuberías.

El rendimiento isoentrópico de una bomba se define como:

$$\eta_b = \frac{W_{ISO}}{W_{Real}} \quad E 7:11$$

El primer principio aplicado al volumen de control de la bomba con las consideraciones propuestas queda de la siguiente forma, como ya se ilustró en la expresión E 7:6:

$$\Delta h = -\bar{W} + \bar{Q}$$



### 7.3.3.1 BOMBA-01

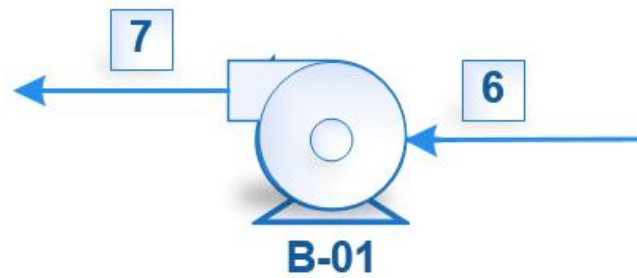


Figura 7-V Bomba-01

El balance a esta bomba se puede aplicar una vez se resuelven los balances al desgasificador para obtener  $P_7$  y definir el estado (Tabla 7-V).

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg · K)
6	Líquido saturado	0.06	36	151.5	0.5208
7	Líquido subenfriado	16	36	153.3	1.8745

Tabla 7-V Estados: 6 y 7

El trabajo que realiza la bomba-01 y su potencia son los siguientes:

$$\bar{W}_{b1} = h_7 - h_6 = 2 \text{ kJ/kg} \quad \dot{W}_{b1} = 2 \dot{m}_w (1 - y)$$

### 7.3.3.2 BOMBA-02

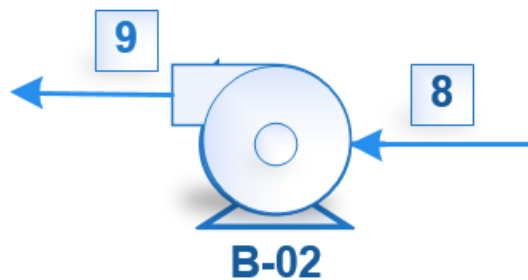


Figura 7-VI Bomba-02

El estado 8 es líquido saturado de presión conocida, ya que el fluido está a la presión de trabajo del desgasificador.

La isobara de calentamiento del ciclo es un dato de partida que establece que el estado 9 debe estar a 170 bar para poder entrar en la caldera. Con la caída de presión considerada se tiene que  $P_9=175$  bar. Con el rendimiento de la bomba se resuelva la temperatura y se caracteriza el estado, mostrado en la Tabla 7-VI.

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg ·K)
8	Líquido saturado	16	200	852.5	2.3309
9	Líquido subenfriado	175	206	885.7	2.3621

Tabla 7-VI Estados: 8 y 9

El trabajo de esta bomba y su potencia se muestran a continuación:

$$\bar{W}_{b2} = h_9 - h_8 = 33 \text{ kJ/kg} \quad \dot{W}_{b2} = 33 \dot{m}_w$$

### 7.3.4 BALANCES AL DESGASIFICADOR

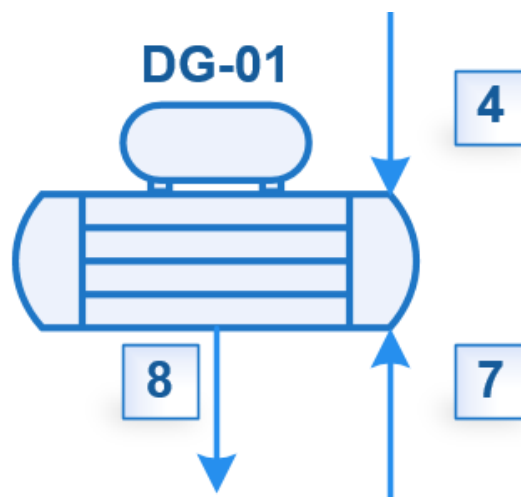


Figura 7-VII Desgasificador

- El desgasificador se considera ideal y la purga de oxígeno no se considera en el balance de materia.
- Se desprecia la pérdida de carga en el desgasificador debido al desconocimiento de datos procedentes del diseño.
- Se considera un proceso adiabático.

El balance de energía al desgasificador se muestra en E 7:12, expresión a partir de la cual se puede deducir la expresión para calcular la extracción de vapor en la turbina.

$$h_8 \cdot \dot{m}_W = h_4 \cdot \dot{m}_4 + h_7 \cdot \dot{m}_7 \quad E\ 7:12$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_5$$

Del balance de masa a la zona BP de la turbina se tiene que:

$$\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_W} = y \quad \frac{\dot{m}_5}{\dot{m}_W} = 1 - y$$

Entonces E 7:12 puede escribirse como:

$$y = \frac{h_8 - h_7}{h_4 - h_7}$$

La presión de operación del desgasificador es un dato del que se dispone. Al considerar que la transmisión de calor transcurre de manera ideal, las presiones de los estados 4, 7 y 8 quedan definidas como la presión del desgasificador.

Las características de estos estados se resumen en la Tabla 7-VII.

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg · K)
4	Vapor sobrecalentado	16	298	3303.2	6.8785
7	Líquido subenfriado	16	36	153.3	1.8745
8	Líquido saturado	16	200	852.5	2.3309

Tabla 7-VII Estados 4, 7 y 8

## 7.4 REQUERIMIENTOS DEL CICLO

$$\dot{W}_{ciclo} = 400 \text{ MW}$$

El caudal de vapor necesario para cumplir el requerimiento de potencia del ciclo se calcula como:

$$\dot{m}_w = \frac{-\dot{W}_{ciclo}}{\dot{W}_{tAP} + \dot{W}_{tBP a} + \dot{W}_{tBP b} + \dot{W}_{b1} + \dot{W}_{b2}}$$

$$\dot{m}_w = 1,247,000 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_w = 346 \text{ kg/s}$$

El caudal de agua de refrigeración necesario para el funcionamiento del ciclo es el siguiente:

$$\dot{V}_{H_2O} = 0.0115 \dot{m}_w = 14,324 \text{ m}^3/\text{h}$$

El flujo másico y energético de las corrientes del ciclo se resumen en la Tabla 7-VIII:

Corriente	$\dot{m}_w \cdot 10^{-3}$ (kg/h)	H · 10 <sup>-6</sup> (kJ/h)
1	1247	4281
2	1247	3894
3	1247	4438
4	277	914
5	970	2427
6	970	147
7	970	149
8	1247	1063
9	1247	1105
14	14324	663
15	14324	2943

Tabla 7-VIII Caudal y entalpía de las corrientes del ciclo de potencia

La potencia consumida y generada por las bombas y la turbina se muestra en la Tabla 7-IX:

EQUIPO		Potencia·10 <sup>-6</sup>   (kJ/h)
BOMBA 1		2
BOMBA 2		41
TURBINA	ZONA AP	387
	ZONA BP	1096
TOTAL		1440

Tabla 7-IX Potencia generada y consumida

El calor que se suministra al agua del ciclo es el siguiente:

$$\dot{Q}_{absorbido} = (\dot{E}_1 - \dot{E}_9) + (\dot{E}_3 - \dot{E}_2) = 3.72 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}$$

Con los datos de Tabla 7-VIII y Tabla 7-IX, la comprobación del balance de materia y energía al ciclo de potencia se realiza como se muestra en E 7:13.

La energía calorífica suministrada al fluido de trabajo en la caldera ha de ser igual a la potencia obtenida más la energía retirada mediante el refrigerante:

$$\dot{Q}_{absorbido} = \dot{W}_{ciclo} + (\dot{E}_{15} - \dot{E}_{14}) \quad E 7:13$$

#### 7.4.1 RENDIMIENTO DEL CICLO RANKINE

---

El rendimiento del ciclo es el parámetro que describe la efectividad del ciclo de potencia. Refleja cuanta energía reconvierte:

$$\eta_{ciclo} = \frac{\dot{W}_{ciclo}}{\dot{Q}_{absorbido}} \cdot 100 = 38.71$$

El rendimiento del ciclo Rankine con el que opera la central es del 39%.

$$\eta_{ciclo} = 39\%$$

## 7.5 BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR

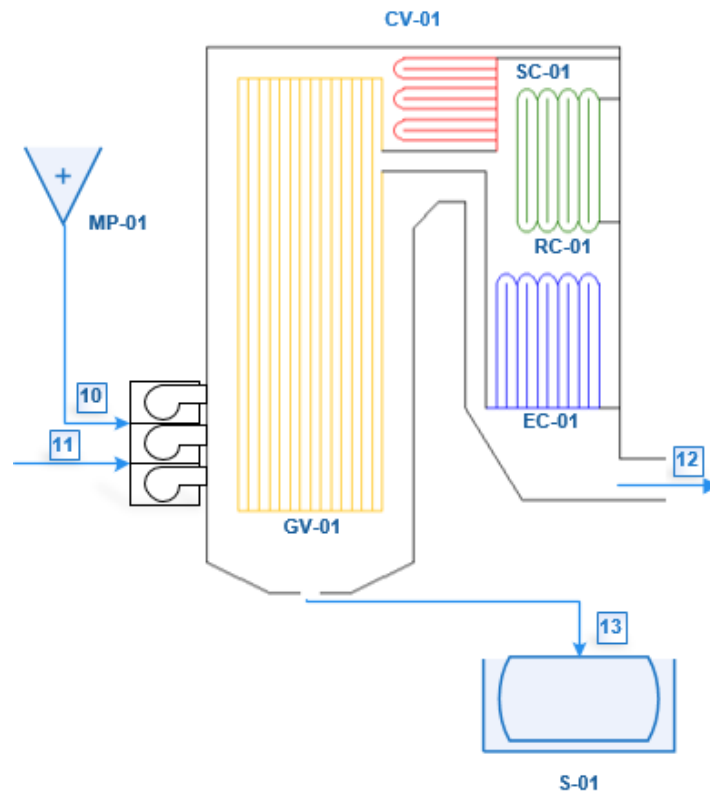


Figura 7-VIII Caldera de vapor, equipos de molienda y tanque de almacenamiento

### 7.5.1 BALANCE DE ENERGÍA

La isobara a 170 bar en la que se cede al calor al sistema tiene las siguientes entalpías de saturación:

Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)
Líquido saturado	170	206	1690.0
Vapor saturado	170	550	2457.5

Tabla 7-X Características del vapor saturado y líquido saturado

Los características de los estados 9 y 1 se muestran en la Tabla 7-XI.

Estado	Fase	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg ·K)
9	Líquido subenfriado	175	206	885.7	2.3621
1	Vapor sobrecalentado	170	550	3432.6	6.4411

Tabla 7-XI Estados: 9 y 1

Con los datos de la Tabla 7-X y de la Tabla 7-XI se pueden obtener el calor absorbido por las superficies termo-intercambiadoras de la caldera (Tabla 7-XII):

Caldera de vapor	Expresión de cálculo	Q (kJ/h)
Generador de vapor	$\dot{Q}_{GV} = (h_g - h_f) \dot{m}_w$	1.07E+09
Economizador	$\dot{Q}_{EC} = (h_f - h_9) \dot{m}_w$	1.00E+09
Sobrecalentador	$\dot{Q}_{SC} = (h_1 - h_g) \dot{m}_w$	1.10E+09
Recalentador	$\dot{Q}_{RC} = (h_3 - h_2) \dot{m}_w$	5.44E+08
<b>Total</b>	$\dot{Q}_{absorbido}$	3.72E+09

Tabla 7-XII Calor de los sub-equipos de la caldera

El combustible se considera alimentado a los quemadores a 25°C. El comburente se alimenta en condiciones atmosféricas y tiene una temperatura de 11°C.

El GC se estudia en el anexo de diseño de equipo principal y se comprueba que abandona la caldera a una temperatura de 389 °C.

### 7.5.1 BALANCE DE MATERIA

El flujo másico de carbón utilizado en la central depende de la eficiencia con la que funcione la caldera de vapor.

La eficiencia a su vez, varía frecuentemente en el proceso en función de diversos factores, como la humedad del ambiente. Para una eficiencia de caldera de 80%, (ver Anexo de Diseño de Equipo Principal), se calcula el caudal de combustible. El valor obtenido es un flujo másico de combustible de diseño, con el que se realizan los cálculos necesarios para dimensionar la caldera.

Una vez completado el diseño se obtiene que la caldera de vapor funcionará con un rendimiento de 82%, y por tanto la necesidad de combustible del proceso será menor.

Conociendo el caudal másico de vapor que se requiere producir, se calcula el caudal de combustible requerido para producir este vapor. Se utiliza este valor como base de cálculo (E 7:14).

$$\dot{m}_{FUEL} = \frac{\dot{Q}_{absorbido}}{PCS \cdot \eta_{Caldera}} = \frac{3.72 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}}{25,506 \text{ kJ/kg} \cdot 0.8} = 1.82 \cdot 10^5 \text{ kg/h} \quad E 7:14$$

182,330 *kg/h* es la cantidad de roca proveniente del parque de carbón que los molinos de pulverización tienen que procesar para cada grupo.

- Base de cálculo: 182,330 *kg/h* de carbón alimentado a la caldera

La Tabla 7-XIII muestra los elementos presentes en el combustible consumido cada hora.

	%w	kg/h	M	kmol/h
H <sub>2</sub> O	10.81	19,718	18	1,095
Cenizas	21.54	39,267		-
C	61.14	111,468	12	9,289
H <sub>2</sub>	1.93	3,520	2	1,760
N <sub>2</sub>	1.08	1,967	28	70
S	0.67	1,219	32	38
O <sub>2</sub>	2.84	5,171	32	162
Total	100	182,330	-	12,414+n <sub>inerte</sub>

Tabla 7-XIII Cantidades de los elementos en el carbón de diseño



Estas cantidades no se corresponden con la cantidad de reactivos, que son cantidades mayores ya que incluyen el nitrógeno, oxígeno y agua proveniente del comburente. El comburente requerido depende de estos valores y esto establece que se tenga que usar un método iterativo de cálculo. La resolución es la siguiente:

1. Se calcula el requerimiento de oxígeno del comburente a partir del oxígeno requerido para la combustión completa de los elementos presentes en el carbón, teniendo en cuenta el oxígeno contenido en la roca.

$$O_{2 \text{ Aire}} = O_{2 \text{ Req}} - O_{2 \text{ Carbón}}$$

2. Se aplica el exceso y mediante la composición del aire se calcula cuanto nitrógeno y cuanto humedad entran con el comburente. Los datos de comburente explicados en el anexo de ingeniería de proceso establecen que el oxígeno se emplea en un 20% en exceso molar y tiene la composición que se muestra en la Tabla 7-XIV considerando una atmósfera de humedad relativa del 65% a 11°C de temperatura.
3. El nitrógeno y la humedad del comburente obtenidos se adicionan a los flujos molares que se alimentan a caldera con la roca.
4. Se recalcula una nueva cantidad de oxígeno en exceso para lograr la combustión completa, que esta vez será mayor debido al aumento de la presencia de nitrógeno en los reactivos.
5. Se repite el tercer paso sucesivamente hasta que la cantidad de oxígeno obtenida sea exactamente la necesaria para combustionar todos los reactivos con el exceso en moles propuesto.

La resolución del cálculo iterativo da como resultado 59,791 kmol utilizados de comburente. La Tabla 7-XIV muestra las cantidades de los elementos contenidos en el aire.

	%n	kg/h	kmol/h
O <sub>2</sub>	20.82	398,411	12,450
N <sub>2</sub>	78.33	1,311,437	46,837
H <sub>2</sub> O	0.84	9,065	504
Total	100	1,718,914	59,791

Tabla 7-XIV Flujo másico y molar de los elementos del comburente

La cantidad total de los elementos introducido en la caldera con el combustible y el comburente se muestra en la Tabla 7-XV.

%W	kg/h	kmol/h
H <sub>2</sub> O	28,783	1,599
C	111,468	9,289
H <sub>2</sub>	3,520	1,760
N <sub>2</sub>	1,313,405	46,907
S	1,219	38
O <sub>2</sub>	403,582	12,612
Total	1,861,977	72,205

Tabla 7-XV Flujo másico y molar de los elementos alimentados a la caldera presentes en combustible y comburente a excepción de la ceniza

En la Tabla 7-XV se omite la cantidad de cenizas que entra la caldera: 39,267 kg/h. Estos compuestos son inertes y se depositan en el tanque de almacenamiento.

Con el flujo molar de los reactivos en la combustión se calcula los productos obtenidos utilizando la estequiometria de las reacciones y la definición de conversión (E 7:15) y selectividad (E 7:16) respecto al reactivo limitante.

$$X = \frac{\dot{n}_{RL \text{ reacciona}}}{\dot{n}_{RL \text{ alimentado}}} \cdot 100 \quad E 7:15$$

$$S = \frac{\dot{n}_{RL \text{ reacciona a producto}}}{\dot{n}_{RL \text{ reacciona}}} \cdot 100 \quad E 7:16$$

Las conversiones de cada reacción y las selectividades de las especies a cada producto se resumen en la Tabla 7-XVI, la composición del GC obtenido se muestra en la Tabla 7-XVII.

Especies	Conversión (%)	Selectividad a producto (%)	
C	100	CO <sub>2</sub>	97
		CO	3
H <sub>2</sub>	100	H <sub>2</sub> O	100
N <sub>2</sub>	1	NO	100
S	100	SO <sub>2</sub>	100

Tabla 7-XVI Reacciones de combustión en la caldera

GC	kg/h	kmol/h	%w	%n
CO	7,803	279	0.42	0.45
CO <sub>2</sub>	396,454	9,010	21.29	14.50
H <sub>2</sub> O	60,465	3,359	3.25	5.41
NO	28,144	938	1.51	1.51
SO <sub>2</sub>	2,439	38	0.13	0.06
O <sub>2</sub>	66,402	2,075	3.57	3.34
N <sub>2</sub>	1,300,271	46,438	69.83	74.73
Total	1,861,977	62,138	100	100

Tabla 7-XVII Flujo másico y molar con composiciones en peso y en moles del GC

El balance de materia global a la caldera de vapor se utiliza para comprobar los resultados (E 7:17):

$$\dot{m}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{salida}} \quad E 7:17$$

$$\dot{m}_{\text{combustible}} + \dot{m}_{\text{comburente}} = \dot{m}_{\text{inherte}} + \dot{m}_{\text{GC}}$$

$$182,330 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 1,718,914 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 39,267 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 1,861,977 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### 7.5.2 RESUMEN DE LOS BALANCES A LA CALDERA DE VAPOR

En la Tabla 7-XVIII se resumen los flujos másicos de las corrientes que intervienen en la caldera de vapor a excepción de las corrientes del ciclo de potencia que ya se han explicado. La composición de la ceniza varía y no se dispone de su capacidad calorífica. Como no interviene en ningún intercambio energético solo se especifica su flujo másico y no la entalpía de la corriente.

Corriente	$\dot{m}_{FUEL} \cdot 10^{-3}$ (kg/h)	$\dot{m}_{aire} \cdot 10^{-3}$ (kg/h)	$\dot{m}_{GC} \cdot 10^{-3}$ (kg/h)	$\dot{m}_{CENIZA} \cdot 10^{-3}$ (kg/h)	$H \cdot 10^{-6}$ (kJ/h)
10	182	-	-	-	0
11	-	1718	-	-	-24
12	-	-	1861	-	724
13	-	-	-	39	-

Tabla 7-XVIII Caudal y entalpía respecto a C.R. de las corrientes de entrada y salida de la caldera de vapor

### 7.6 RENDIMIENTO DE LA CENTRAL

El rendimiento neto mide la capacidad de la central para transformar la energía contenida en el combustible en energía eléctrica. Se calcula como se muestra en E 7:18.

$$\eta_{central} = \frac{\dot{W}_{ciclo}}{\dot{m}_{fuel} \cdot PCS} \cdot 100 = \frac{400 \text{ MW} \cdot 1000 \cdot 3600}{182330 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 25506 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \cdot 100 = 30.96\% \quad E 7:18$$

La central térmica diseñada tiene un rendimiento del 31%.

$$\eta_{central} = 31\%$$

---

## 7.7 BIBLIOGRAFÍA

---

**Moran, M. J. y Shapiro, H. N.** 2012. *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. 4ª ed. Barcelona : Reverté. ISBN 84-291-4313-0.

**National Institute of Standards and Technology. NIST.** 2011. Thermophysical Properties of Fluid Systems. *NIST Chemistry WebBook*. [En línea] National Institute of Standards and Technology. <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>.

**Wallas, S. M.** 1990. *Chemical Process Equipment*. Boston : Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-9385-1.

## 7.8 SCRIPT DESARROLLADO PARA RESOLVER LOS BALANCES

```

clear all
clc
% -----UNIDADES Y NOMENCLATURA-----
% Temperatura= T(°C)
% Presion= P (bar)
% Flujo másico de agua/vapor= mW (kg/h)
% Flujo másico de carbón= mFuel (kg/h)
% Entalpía específica de agua/vapor= h (kJ/kg)
% Entropía específica de agua/vapor= s (kJ/kg K)
% Poder calorífico de carbón superior PCS (kJ/kg)
% Corrientes= numeros enteros. Subíndice indica número de corriente
% acorde con el diagrama de flujo
% Fracción de regeneración= y (kg desviados/kg totales)
% Potencia por unidad de masa= POText (kJ/kg) (se trata de trabajo:se
% llama potencia por convención)
% Entalpía de corriente= E (kJ)
% Calor intercambiado= Q(kJ)
% t=turbina: t1 y t2 hacen referencia a las dos zonas de la turbina
% t1:zona de alta presión
% t2:zona de baja presión
% GV=generador de vapor
% CD=condensador
% b=bomba
% DG=desgasificador

% -----REFERENCIA Y TABLAS-----
% •Las propiedades del fluido de trabajo se encuentran tabuladas en el
% libro FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA TÉCNICA.
% Autores: (MICHAEL J.MORAN y HOWARD N. SHAPIRO)
% •Agua subenfriada: Tabla A-5
% •Agua saturada (líquido-vapor): Tabla A-2
% •Vapor sobrecalentado: Tabla A-4
% •La palabra TABLA acompañando a un valor significa que este se ha
% obtenido de una de estas tres tablas. No se indican las
interpolaciones
% de datos realizadas para contribuir a la claridad del lenguaje de
% programación.
% •Los datos de agua/vapor también se obtienen del National Institute
of
% Standards and Technology (NIST) que proporciona tablas y gráficas a
% través de la herramienta NIST Chemistry WebBook.

% -----CONSIDERACIONES REALIZADAS-----
% •Regimen estacionario.
% •Se emplea el criterio egoísta de signos.
% • El agua que circula en el ciclo de potencia se considera libre
% de impurezas.
% • El ciclo de potencia es un ciclo cerrado y por tanto no hay cambio
de
% materia con el exterior. Por tanto no se pierde fluido de trabajo.
% • En los cambios de fase del ciclo Rankine las caídas de presión son
% bajas comparadas a las presiones de trabajo y por tanto
despreciables.
% •La conversión de energía mecánica a energía eléctrica se produce de

```

```

% manera ideal (rendimiento del generador de 100%).
% •El circuito de agua es cerrado.

% -----DATOS-----
% CORRIENTE 1: T1=550;P1=170 Condiciones del vapor de salida de la
caldera
% CORRIENTE 2: P2=45 Regla de optimización de ciclo(1/4 de P1)
% CORRIENTE 3: T1=550 Condición de vapor recalentado
% CORRIENTE 6: Estado de agua saturada: Optimización del ciclo
% CORRIENTE 8: Estado de agua saturada: Optimización del ciclo
% 5 bar de margen de caída de presión en caldera
potenciaREQ=400; %se requiere generar 400 MW
effT=0.79; %rendimiento de la turbina
effB=0.60; %rendimiento de las bombas
P_DG=16; %presión de operación del DG
P_CD=0.06; %presión de operación de CD
eficienciaCV=0.8; %ver anexo de diseño de equipo
PCS=25506; %(kJ/kg)
densidadH2O=1000; %kg/m3 %a 11°C y 1 bar

% -----CONDICIONES DE REFERENCIA -----
% T= 0°C; P= 1bar; Estado de agregación: Estado normal a esas
condiciones
Tref=0;
Pref=1;

% -----BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA -----
-
% CORRIENTE 1 Estado: vapor sobrecalentado
T1=550;
P1=170;
h1=3432.6; %TABLA
s1=6.4411; %TABLA

% CORRIENTE 2 Estado: vapor sobrecalentado
T2=366; %TABLA
P2=45;
s2s=s1;
h2s=3039.6;
h2=h1+(h2s-h1)*effT;
s2=6.5797; %TABLA

% TURBINA 1: Potencia
POText_t1=h2-h1;

% CORRIENTE 3 Estado: vapor sobrecalentado
T3=550;
P3=42;
h3=3558.4; %TABLA
s3=7.2112; %TABLA

% CORRIENTE 5 Estado: agua saturada(equilibrio L-V)
T5=36; %TABLA
P5=P_CD; %Dato obtenido de procedimiento comparativo explicado en
anexo
h5s=2220.9;
h5=2501.7; %Calculado con el título (ver procedimiento)

```

```
s5=8.1193; %Calculado con el título (ver procedimiento)

% CORRIENTE 6 Estado: agua saturada en la curva de líquido
T6=T5;
P6=P5; %Presión de operación del condensador
h6=151.48; %TABLA
s6=0.5208; %TABLA

%A partir de este punto se resuelven las corrientes partiendo
%del final del circuito

% CORRIENTE 8 Estado: agua saturada en la curva de líquido
T8=200; %TABLA
P8=P_DG; %Fijada por la presión de operación del desgasificador
h8=852.5; %TABLA
s8=2.3309; %TABLA

% CORRIENTE 9 Estado: agua subenfriada
T9=206; %TABLA
P9=175; %5 bar de margen de caída de presión en caldera
s9s=s8;
h9s=872.4; %TABLA
h9=h8+(h9s-h8)/effB;
s9=2.3621; %TABLA

% BOMBA 2: Potencia requerida
POText_b2=h9-h8;

% CORRIENTE 7 Estado: agua subenfriada
T7=T5;
P7=P8; %Presión de operación del desgasificador
s7s=s6;
h7s=152.6; %TABLA
h7=h6+(h7s-h6)/effB;
s7=1.8745; %TABLA

% BOMBA 1: Potencia requerida
POText_b1=h7-h6;

% CORRIENTE 4 Estado: vapor sobrecalentado
T4=298;
P4=P8; %Presión de operación del desgasificador
s4s=s3;
h4s=3235.3; %TABLA
h4=h3+(h4s-h3)*effT;
s4=6.8785; %TABLA

% TURBINA 2: Potencia
POText_t2a=h4-h3; %sangrado de vapor
POText_t2b=h5-h3;

%ISOBARA de absorción de calor del ciclo (170 bar)
hf=1690.0;
hg=2547.5;

% CORRIENTE 14 Estado: agua subenfriada
T14=11;
P14=1; %Presión atm
h14=46.3; %TABLA
```



```

s14=0.1657; %TABLA

% CORRIENTE 15 Estado: agua subenfriada
T15=49;
P15=P14; %Presión atm
h15=205.5; %TABLA
s15=0.6915; %TABLA

%OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL CICLO
%Fracción de regeneración del ciclo
y=(h7-h8)/(h7-h4) %igual a y=(h8-h7)/(h4-h7)

%Caudal de agua circulante
%(POText_t1+(y*POText_t2a)+((1-y)*POText_t2b)-(1-y)*POText_b1-
POText_b2)*mW=-400000*(3600)
mW=(-potenciaREQ*(1000*3600))/(POText_t1+(y*POText_t2a)+((1-
y)*POText_t2b)+((1-y)*POText_b1+POText_b2)) % (kg/h)
mWseg=(-potenciaREQ*1000)/(POText_t1+(y*POText_t2a)+((1-
y)*POText_t2b)+((1-y)*POText_b1+POText_b2)) % (kg/s)

%Potencia generada y consumida
POT_t1=mW*POText_t1
POT_t2=mW*((y*POText_t2a)+((1-y)*POText_t2b))
POT_b1=mW*(1-y)*POText_b1
POT_b2=mW*POText_b2
POTneta=-(POT_t1+POT_t2)-(+POT_b1+POT_b2) % (kJ/h)
POTENCIA=POTneta/((1000)*(3600)) % (MW)

%Entalpías de las corrientes (kJ/h)
E1=mW*h1;
E2=mW*h2;
E3=mW*h3;
E5=mW*(1-y)*h5;
E4=mW*y*h4;
E6=mW*(1-y)*h6;
E7=mW*(1-y)*h7;
E8=mW*h8;
E9=mW*h9;

%Perdidas energéticas y calor intercambiado en los equipos (kJ/h)
Qcv=E1-E9;
Qrc=E3-E2;
Qec=(hf-h9)*mW;
Qgv=(hg-hf)*mW;
Qsc=(h1-hg)*mW;
Qt1=mW*((h2s-h1)-POText_t1); %Las pérdidas en turbina no son solo en
calor
Qt2a=(mW*y)*((h4s-h3)-POText_t2a);
Qt2b=(mW*(1-y))*((h5s-h3)-POText_t2b);
Qt2=Qt2a+Qt2b;
Qcd=E6-E5; %Proceso reversible
Qdg=E8-(E7+E4); %Proceso reversible
Qb1=(mW*(1-y))*((h7s-h6)-POText_b1);
Qb2=mW*((h9s-h8)-POText_b2);

%Requerimiento de agua de refrigeración
Te=11; %°C temperatura del ambiente
Ts=49; %°C fijada mediante regla del pulgar
mREF=-Qcd/(h15-h14); %kg/h
caudalREF=mREF/densidadH2O

```

```
E14=mREF*h14;  
E15=mREF*h15;
```

```
%COMPROBACION BALANCE DE ENERGÍA
```

```
E_IN=Qrc+Qcv; %kJ/h
```

```
E_OUT=(E15-E14)+POTneta; %kJ/h
```

```
%Rendimiento térmico del ciclo
```

```
Qabs=Qcv+Qrc; % (kJ/h)
```

```
Qced=(Qcv+Qrc)/0.8; % (kJ/h)
```

```
Rciclo=(POTneta/Qabs)*100
```

```
%Rendimiento tde la central
```

```
Rendimiento=(POTneta*100)/((Qabs)/eficienciaCV)
```

```
mFUEL=1.8233*10^(5);
```

```
%Rendimiento2=(POTneta*100)/(PCS*mFUEL) igual al rendimiento
```

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 8:  
DISEÑO DE EQUIPO  
CALDERA DE VAPOR



---



---

## ÍNDICE

---



---

<b>8</b>	<b>DISEÑO DE EQUIPO: CALDERA DE VAPOR.....</b>	<b>8-1</b>
<b>8.1</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y DATOS PREVIOS.....</b>	<b>8-1</b>
<b>8.2</b>	<b>TRANSMISIÓN DE CALOR.....</b>	<b>8-4</b>
8.2.1	PRESIÓN DE OPERACIÓN .....	8-4
8.2.2	RADIACIÓN EN EL HOGAR.....	8-5
8.2.3	TEMPERATURA DEL HOGAR.....	8-8
8.2.3.1	TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LLAMA .....	8-11
8.2.4	SOBRECALENTADOR.....	8-12
8.2.4.1	ZONA DE CHOQUE.....	8-12
8.2.4.2	CONVECCIÓN EN EL SOBRECALENTADOR.....	8-15
8.2.4.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL SOBRECALENTADOR	8-16
8.2.5	RECALENTADOR .....	8-17
8.2.5.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL RECALENTADOR....	8-18
8.2.6	ECONOMIZADOR .....	8-19
8.2.6.1	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL ECONOMIZADOR....	8-20
8.2.1	RESUMEN DE FLUJO DE CALOR, DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA Y SUPERFICIES DE INTERAMBIO.....	8-20
<b>8.3</b>	<b>TAMAÑO DE LA CALDERA DE VAPOR.....</b>	<b>8-21</b>
8.3.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS.....	8-21
8.3.1.1	ACERO REQUERIDO .....	8-21
8.3.1.2	DIMENSIONES DE TUBOS ESTANDARIZADAS.....	8-21
8.3.2	DIMENSIONES DEL HOGAR Y DE LOS HAZES DE TUBOS .....	8-22
<b>8.4</b>	<b>RENDIMIENTO FINAL DE LA CALDERA.....</b>	<b>8-24</b>
8.4.1	PÉRDIDAS DE EFICIENCIA.....	8-24
<b>8.5</b>	<b>CONTROL DE TEMPERATURA DEL GAS DE COMBUSTIÓN .....</b>	<b>8-25</b>
<b>8.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>8-29</b>
<b>8.7</b>	<b>SCRIPT DESARROLADO PARA LA RESOLUCIÓN DEL DISEÑO..</b>	<b>8-30</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 8-I Calor absorbido en %, en función de la presión de operación y la temperatura del vapor .....	8-4
Figura 8-II Relación entre temperatura de humos a la salida hogar y la difusividad .....	8-9
Figura 8-III Efecto de la geometría de tubos de la zona de choque sobre la absorción de calor .....	8-13
Figura 8-IV Sistema de control de la temperatura del GC a la salida de la caldera de vapor .....	8-27

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 8-I Coeficientes del polinomio de especies presentes en el GC.....	8-3
Tabla 8-II Distribución de la absorción de calor en la caldera de vapor que opera en la central.....	8-5
Tabla 8-III Área requerida de superficie expuesta a la radiación del hogar.....	8-7
Tabla 8-IV Resultados calculados para diferentes temperaturas de diseño del hogar .....	8-10
Tabla 8-V Balance de energía en la caldera de vapor .....	8-13
Tabla 8-VI Calor absorbido por las tres filas de la zona de choque y área total del banco de tubos.....	8-14
Tabla 8-VII Calor absorbido por convección en el sobrecalentador y temperatura de salida del GC.....	8-15
Tabla 8-VIII Coeficiente global de transferencia de calor en el sobrecalentador .....	8-17
Tabla 8-IX Área de intercambio del sobrecalentador .....	8-17
Tabla 8-X Calor absorbido en el recalentador y temperatura del GC a la salida .....	8-18
Tabla 8-XI Área de intercambio del recalentador .....	8-18
Tabla 8-XII Calor absorbido en el recalentador y temperatura del GC a la salida .....	8-19
Tabla 8-XIII Área de intercambio del economizador.....	8-20
Tabla 8-XIV Distribución de temperatura y flujo de calor en la caldera de vapor .....	8-20
Tabla 8-XV Superficies termo-intercambiadoras .....	8-20
Tabla 8-XVI Dimensiones de los tubos del generador de vapor acorde con la ASTM A1016/A1016M-14 .....	8-22
Tabla 8-XVII Dimensiones de los tubos del sobrecalentador, recalentador y economizador acorde con la ASTM A1016/A1016M-14.....	8-22
Tabla 8-XVIII Dimensiones de la caldera de vapor .....	8-23
Tabla 8-XIX Resultados de porcentaje de pérdidas .....	8-25
Tabla 8-XX Elementos del sistema de control con realimentación.....	8-26





---

---

## 8 DISEÑO DE EQUIPO: CALDERA DE VAPOR

---

---

---

### 8.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y DATOS PREVIOS

---

El diseño de la caldera viene determinado por la transmisión de calor al fluido de trabajo, que depende del caudal de combustible de alimentación. El requerimiento de combustible depende, a su vez, del calor que se necesita aportar al ciclo de potencia teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera y éste, solo se puede determinar a partir del cálculo de las pérdidas de eficiencia para un diseño finalizado.

Es por este motivo que el diseño de la caldera de vapor se debe comenzar estudiando varios valores diferentes de eficiencia térmica para luego calcular las pérdidas de calor hasta que ambos valores se correspondan mediante un proceso de iteración.

El software utilizado para resolver este cálculo es MatLab. El script se muestra al final del anexo.

- El valor inicial de rendimiento de 80% cierra la iteración con una diferencia baja frente al valor final obtenido de 82%.

Para el valor inicial, se calcula el flujo de combustible de diseño y se dimensiona la caldera. Finalmente, se recalcula la eficiencia. El procedimiento matemático explicado en este anexo se corresponde a este valor.

Del balance de materia y energía se conocen los siguientes datos:

- Energía requerida ( $\dot{Q}_{abs}$ ) por el ciclo diseñado de 400 MW para aumentar la temperatura del agua desde 206°C a 550°C en la isobara de 170 bar.
- Necesidades caloríficas de los sub-equipos que se encuentran en la caldera: generador de vapor, economizador, sobrecalentador y recalentador.

El requerimiento energético de la caldera de vapor es siempre superior al requerimiento del ciclo de potencia. Se calcula utilizando la definición de rendimiento E 8:1.

$$\dot{Q}_{cedido} = \frac{\dot{Q}_{abs}}{\eta_{caldera}} = \frac{3.72 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}}{0.8} = 4.65 \cdot 10^9 \text{ kJ/h} \quad E 8:1$$

El combustible que se necesita se calcula acorde con E 8:2:

$$\dot{m}_{FUEL} = \frac{\dot{Q}_{cedido}}{PCS} = \frac{4.65 \cdot 10^9 \text{ kJ/h}}{25506 \text{ kJ/kg}} = 1.82 \cdot 10^5 \text{ kg/h} \quad E 8:2$$

E 8:2

*PCS*: Poder calorífico superior (kJ/kg)

$\dot{m}_{FUEL}$ : Flujo másico de combustible (kg/h)

Del balance de materia se obtiene el flujo molar y composición del GC producido ( $\dot{n}_{GC}$ ) para  $1.82 \cdot 10^5 \text{ kg/h}$  de carbón combustionado.

$$\dot{n}_{GC} = 62138 \text{ kmol/h}$$

Para calcular la distribución de temperaturas del gas de combustión en la caldera, se considera que el calor cedido por el mecanismo de convección es igual su variación de entalpía a presión constante:

$$\dot{Q}_P = \dot{n}_{GC} \cdot \left[ \sum (x_i \cdot \int_{T_{REF}}^{T_{FINAL}} C_{p_i} \cdot dT) - \sum (x_i \cdot \int_{T_{REF}}^{T_{INICIAL}} C_{p_i} \cdot dT) \right]$$

Debido a que se trabaja en régimen estacionario y la masa del GC se mantiene constante en la circulación de la caldera, para los cálculos se aplica la expresión simplificada E 8:3.

$$\dot{Q}_P = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{INICIAL}}^{T_{FINAL}} C_{p_i} \cdot dT) \quad E 8:3$$

E 8:3

$\dot{n}_{GC}$ : Flujo molar de gas de combustión (kmol/h)

$T_{FINAL}$ : Temperatura de GC de salida (K)

$T_{INICIAL}$ : Temperatura de GC de salida (K)

i: Compuestos en GC: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>

$x_i$ : Fracción molar de cada compuesto en el GC (K)

$C_{p_i}$ : Capacidad calorífica de cada compuesto en el GC (kJ/kmol · K)

La capacidad calorífica obedece el siguiente polinomio, cuyos coeficientes se especifican en la Tabla 8-I:

$$\frac{C_P}{R} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4$$

	$a_0$	$a_1 \cdot 10^3$	$a_2 \cdot 10^5$	$a_3 \cdot 10^8$	$a_4 \cdot 10^{11}$
CO <sub>2</sub>	3.259	1.356	1.502	-2.374	1.056
CO	3.912	-3.913	1.182	-1.302	0.515
H <sub>2</sub> O	4.395	-4.186	1.405	-1.564	0.632
SO <sub>2</sub>	4.417	-2.234	2.334	-3.271	1.393
NO	4.534	-7.644	2.066	-2.156	0.806
O	3.63	-1.794	0.658	-0.601	0.179
N	3.539	-0.261	0.007	0.157	-0.099

Tabla 8-I Coeficientes del polinomio de especies presentes en el GC (Poling, y otros, 2001)

Cuando una de las temperaturas de E 8:3 se desconoce y es el objetivo del cálculo, la integral se resuelve numéricamente aplicando la regla de Simpson y se procede mediante el método de prueba y error para despejar su valor.

## 8.2 TRANSMISIÓN DE CALOR

### 8.2.1 PRESIÓN DE OPERACIÓN

La isóbara donde transcurre la absorción de calor en el ciclo es fundamental para el cálculo de la transmisión de energía y determina los balances de energía. Ya que se corresponde con la presión de trabajo la caldera, se fija al diseñar el equipo.

Al aumentar la presión de operación de la caldera para una cantidad fija de vapor sobrecalentado, la cantidad de calor que necesitan los sub-equipos y la absorción de calor total decrece. El rendimiento mejora y no hace falta tanto aporte energético para producir la cantidad de vapor necesaria a una temperatura. Esto se ilustra en la Figura 8-1.

Conociendo las necesidades del vapor sobrecalentado requerido para enviar a la turbina (550°C), se utiliza la Figura 8-1 para fijar la presión de operación de la caldera.

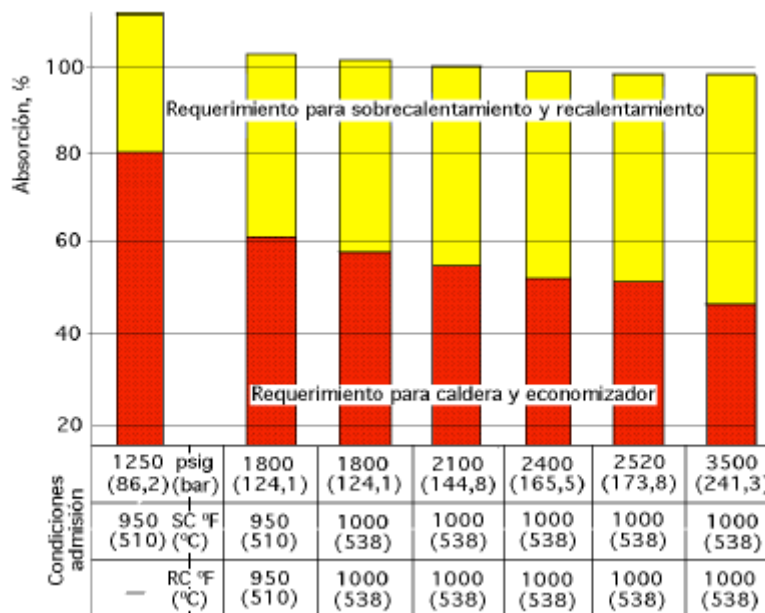


Figura 8-1 Calor absorbido en %, en función de la presión de operación y la temperatura del vapor (Foster Wheeler, 2010)

Con una presión de trabajo de la caldera de 170 bar, se obtiene valores del orden de 50% de calor absorbido por el hogar y el economizador y un 50% absorbido por sobrecalentador y recalentador. Estos valores permitirán obtener vapor sobrecalentado en las condiciones requeridas por la turbina con un buen rendimiento de caldera y compensando las dimensiones de las zonas de radiación y convección.

Una vez realizado el balance de energía al ciclo, se calculan los valores reales de diseño de calor absorbido de cada subconjunto termo-intercambiador. Los datos de la Tabla 8-II proceden del Anexo de Balances de Materia y Energía.

Caldera de vapor	$\dot{Q}$ (kJ/h)	% del total a 170 bar y 550°C
<b>Generador de vapor</b>	$1.07 \cdot 10^9$	56
<b>Economizador</b>	$1.00 \cdot 10^9$	
<b>Sobrecalentador</b>	$1.10 \cdot 10^9$	44
<b>Recalentador</b>	$5.44 \cdot 10^8$	
<b>Total</b>	$3.72 \cdot 10^9$	

Tabla 8-II Distribución de la absorción de calor en la caldera de vapor que opera en la central

Un 56% del calor es absorbido por el hogar (generador de vapor) y el economizador y un 44% absorbido por sobrecalentador y recalentador.

$$\dot{Q}_{GV} + \dot{Q}_{EC} = 0.44\dot{Q}_{abs}$$

$$\dot{Q}_{RC} + \dot{Q}_{SC} = 0.56\dot{Q}_{abs}$$

## 8.2.2 RADIACIÓN EN EL HOGAR

---

El calor absorbido en el hogar se puede calcular considerando la transmisión de calor igual a la radiación absorbida por una superficie plana (Kern, 1950). Para simplificar el estudio se realizan las siguientes consideraciones:

- Temperatura del hogar constante e igual a la temperatura de difusividad media. En el proceso real la temperatura del hogar no es constante. En el centro de la llama es máxima, mientras que con la cesión de calor disminuye hasta un mínimo siguiendo una distribución de flujo térmica decreciente. Junto con esta temperatura también disminuye la difusividad de calor.
- Debido a la naturaleza del hogar y a su diseño, el calor cedido por el mecanismo de convección se estima despreciable frente a la transmisión de calor por radiación. De este modo se considera que el agua absorbe el calor requerido para el cambio de fase mediante el mecanismo de radiación (The Babcock & Wilcox Co, 2007).
- El acero que conforma los tubos tiene una conductividad térmica alta (Wallas, 1990).
- La emisividad y la absorptividad de la superficie y de los alrededores se consideran iguales, constantes con la temperatura. y se estima en 0.7. Se trata del valor más bajo de los sugeridos en bibliografía (Perry, y otros, 2008) que proporcionará un área de transmisión requerida con un grado sobre-diseño.

La superficie del hogar la conforman las caras de los tubos a una determinada temperatura expuestos a la atmósfera ardiente de éste.

Atendiendo a la consideración de que el espesor del acero de los tubos que separa el fluido y el hogar no es un impedimento para la transmisión de calor, la temperatura de la superficie de los tubos se supone en todo momento igual a la temperatura de saturación del agua a la presión de trabajo de la caldera (el cambio de fase líquido-vapor ocurre a temperatura constante).

Conociendo el calor que se necesita aportar para evaporar el flujo de agua requerido por el ciclo de potencia y con las consideraciones propuestas, la aplicación de la Ley de Stefan-Boltzmann (E 8:4) permite obtener el área de intercambio de calor en función de la temperatura del hogar.

$$\dot{Q}_{GV} = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot (T_{HOGAR}^4 - T_{TUBOS}^4) \quad E\ 8:4$$

E 8:4

 $T_{HOGAR}$ : Temperatura en la superficie de los tubos (K) $T_{TUBOS}$ : Temperatura en la superficie de los tubos (K)A: Área de la superficie expuesta ( $m^2$ ) $\varepsilon$ : Emisividad =absortividad de la superficie $\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann  $W/m^2 \cdot K^4$ 

En E 8:4, la temperatura del hogar es una variable desconocida que además afecta a la dimensiones de todos los sub-equipos y a la temperatura de los humos de la que a su vez depende la transmisión de calor por convección. El procedimiento para determinar esta temperatura se explica en 8.2.3.

Una vez se dispone de todos los datos mostrados en la Tabla 8-III se puede calcular el área expuesta:

$\dot{Q}_{GV}$	$1.07 \cdot 10^9$	kJ/h
$\sigma$	$5.67 \cdot 10^{-8}$	$W/m^2 \cdot K^4$
$\varepsilon$	0.7	-
$T_{HOGAR}$	1400	°C
	1673	K
$T_{TUBOS}$	352	°C
	625	K
<b>A</b>	<b>974</b>	<b><math>m^2</math></b>

Tabla 8-III Área requerida de superficie expuesta a la radiación del hogar

La superficie requerida de los tubos que conforman el generador de vapor debe sobre-diseñarse para que durante el proceso se asegure al menos la transmisión planteada en el diseño. Se considera que los tubos deben tener una superficie el 25% superior al valor calculado de área expuesta a la absorción de la radiación del hogar.

$$A_{GV} = 1218 \text{ m}^2$$

### 8.2.3 TEMPERATURA DEL HOGAR

---

El estudio de la transmisión de calor en la caldera sin la utilización de una simulación de flujo de calor requiere estimar una temperatura de hogar promedio de diseño. Se trata de un procedimiento comparativo-iterativo donde se dispone de grados de libertad matemáticamente, pero el valor se encuentra acotado termodinámicamente por dos límites:

- El valor de coeficiente de difusividad térmica por radiación mínimo teórico en el hogar es la cota inferior  $-50000 \text{ BTU/h}\cdot\text{ft}^2$  ( $157 \text{ kW/m}^2$ ), que es el valor mínimo sugerido para calderas (Wallas, 1990).
- La temperatura adiabática de llama es la cota superior con un valor de  $1837^\circ\text{C}$ . La obtención de este valor se explica en el apartado 8.2.3.1.

La temperatura del hogar determina la temperatura de salida de los humos.

Por esta razón es esencial entender que el cálculo de esta temperatura se tiene que realizar **de manera simultánea al diseño de la zona de choque** del sobrecalentador (sección 8.2.4.1). Esta zona delimita la frontera del hogar y por tanto determina el calor que se absorbe por convección en el resto del sistema.

Una vez se tienen las cotas que fijan el intervalo de trabajo el procedimiento de cálculo es el siguiente:

- 1) Se fija una  $T$  hogar contenido entre los límites de temperaturas.
- 2) Aplicando la Ley de Stefan-Boltzmann (E 8:4) se obtiene el área requerida de las caras de los tubos expuesta a la radiación.
- 3) Se calcula el coeficiente de difusividad térmica en el hogar empleando la ecuación E 8:5.

$$D = \frac{\dot{Q}_{GV}}{A} \quad E 8:5$$

E 8:5

$D$ : Difusividad térmica o flujo de calor ( $\text{kW/m}^2$ )

$\dot{Q}_{GV}$ : Calor absorbido por el generador de vapor ( $\text{kJ/s}$ )

$A$ : Superficie de transmisión ( $\text{m}^2$ )



- 4) Para tecnología PCC<sup>1</sup>, con el valor de difusividad media del hogar obtenida se aplica la correlación mostrada en la Figura 8-II y se obtiene la temperatura de humos a la salida del hogar. Nótese que la temperatura del GC a la salida del hogar depende más de la difusividad térmica que del calor total liberado por el combustible. Esto queda reflejado en la correlación mostrada en la Figura 8-II, que sin embargo considera una caldera sin suciedad y omite factores que influyen en la temperatura de humos como la disposición de los quemadores, lo que reduce la precisión de la correlación (Foster Wheeler, 2010).

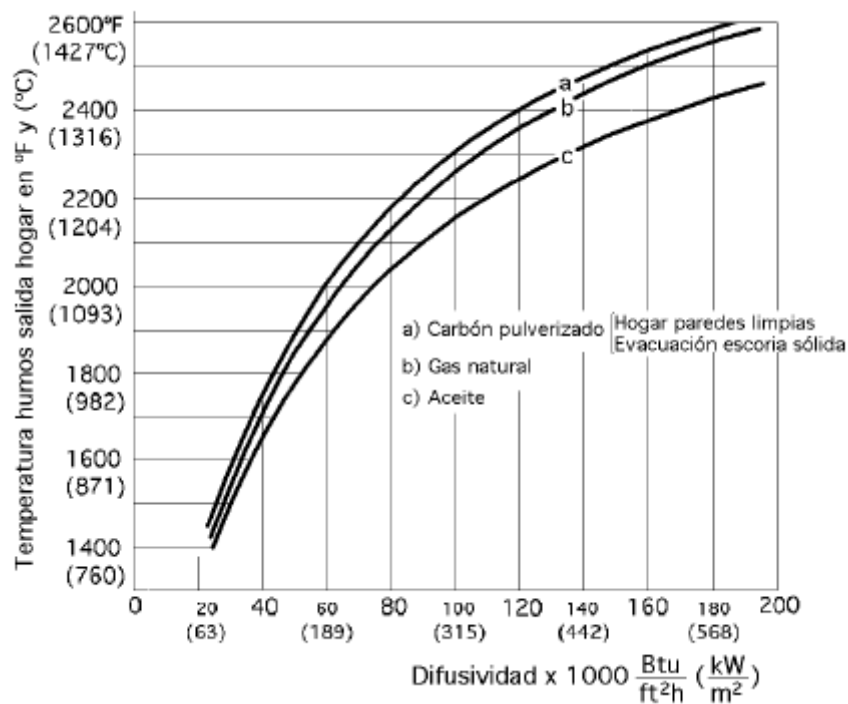


Figura 8-II Relación entre temperatura de humos a la salida hogar y la difusividad (Foster Wheeler, 2010)

- 5) Conocido el calor que se necesita transmitir por el mecanismo de convección (Tabla 8-V) y la temperatura de salida de los humos al hogar, se utiliza E 8:6 para obtener la temperatura de salida de la caldera del GC. Este paso requiere utilizar el método de prueba y error ya que el valor de la entalpía de la corriente se obtiene mediante cálculo diferencial. El método numérico utilizado para resolver la integral es la regla de Simpson.

<sup>1</sup> Pulverised Coal Combustion.

$$\dot{Q}_{Convección} = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{ECs}}^{T_B} c_{p_i} \cdot dT) \quad E 8:6$$

- 6) Se comparan los resultados y se elige una temperatura intermedia contenida entre las dos temperaturas límite.

La Tabla 8-IV refleja los resultados obtenidos del proceso:

<i>T hogar</i>	<i>Difusividad</i>		<i>Área requerida</i>	<i>T salida hogar</i>	<i>T salida humos</i>
	<i>°C</i>	<i>kW/m<sup>2</sup></i>			
1200	181	57387	1642	1093	192
1300	237	75208	1253	1190	299
1400	305	96771	974	1260	389
1500	386	122568	769	1316	466
1600	483	153119	616	1370	543
1700	596	188975	499	1420	613

Tabla 8-IV Resultados calculados para diferentes temperaturas de diseño del hogar

La temperatura de diseño del hogar de 1400°C se encuentra entre los valores acotados y su difusividad se encuentra entre valores típicos de zona radiante de calderas de vapor (The Babcock & Wilcox Co, 2007).

Además, el valor de temperatura de salida de los humos es superior a la temperatura de saturación del agua y a la temperatura del agua en el estado 9 (ver Anexo de Balances de Materia y Energía), luego no habría impedimento termodinámico para la transmisión de calor en el economizador entre el GC y el agua bombeada desde el desgasificador, ya que en ningún momento se produciría cruce de temperaturas. Es por tanto la temperatura elegida para el estudio de la transmisión de calor.

### 8.2.3.1 TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LLAMA

La temperatura adiabática de llama es la máxima temperatura que podrían alcanzar los productos de la combustión y a la que podría trabajar el hogar en condiciones ideales (Moran, y otros, 2012).

Se calcula considerando el trabajo de flujo y el calor perdido despreciables en la reacción del hogar. En esta situación, la energía liberada en la reacción de combustión se transfiere íntegramente al GC. El entorno (que incluye la ceniza y combustible no quemado) por tanto, no absorbería calor y así se alcanzaría el límite de operación adiabática.

Aplicando el primer principio de la termodinámica (E 7:3) se puede obtener la temperatura mediante un proceso de prueba y error, ya que la temperatura se encuentra en uno de los extremos de la integral.

$$\Sigma H_{SALIDA} = \Sigma H_{ENTRADA} + H_{REACCIÓN} \quad E 8:7$$

$$H_{REACCIÓN} = m_{fuel} \cdot PCS \quad E 8:8$$

$$\Sigma H_{ENTRADA} = \dot{n}_{AIRE} \cdot \sum (x_j \cdot \int_{T_{REF}}^{T_{AIREe}} Cp_j \cdot dT)$$

$$\Sigma H_{SALIDA} = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{REF}}^{T_{LLAMA}} Cp_i \cdot dT)$$

Los flujos molares de aire y GC y sus composiciones se conocen del balance de materia. El flujo de combustible y el PCS se han especificado anteriormente.

$$T_{LLAMA} = 1773 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 8.2.4 SOBRECALENTADOR

---

El sobrecalentador está formado por una pantalla de tubos que absorbe calor del GC por convección. Una parte de estos tubos también se calienta adicionalmente al estar expuesta a la radiación del hogar.

$$\dot{Q}_{SC} = \dot{Q}_{SC \text{ CONVECCIÓN}} + \dot{Q}_{RADIACIÓN \text{ CHOQUE}} \quad E 8:9$$

#### 8.2.4.1 ZONA DE CHOQUE

---

- Se considera que la zona de choque abarca tres filas completas de tubos del sobrecalentador. De la cuarta fila en adelante, la radiación se estima despreciable frente al calor absorbido por convección.

El banco de tubos de la zona de choque delimita el hogar. Está formado por los tubos que absorben calor mediante los mecanismos de convección y radiación.

Un diámetro de tubos pequeño favorece la transmisión de calor. Sin embargo el factor de viabilidad tecnológica limita el diámetro mínimo ya que la instalación de los tubos puede ser difícil. También pesa la viabilidad económica puesto que la fabricación de tubos tan pequeños es costosa y el mantenimiento se encarece (Foster Wheeler, 2010).

Para determinar la cantidad de calor de calor por radiación que absorbe la pantalla de tubos de la zona de choque se requiere de métodos analíticos y de medidas experimentales. Un criterio aproximado válido para el diseño es que absorbe entre un 25% y un 35% del calor total absorbido por convección (Foster Wheeler, 2010). Se selecciona un valor medianamente conservador de 30%.

Este valor se confirma posteriormente como un valor adecuado al proporcionar una diferencia de temperatura del GC en el sobrecalentador próxima a la temperatura de aproximación sugerida en bibliografía (ver apartado 8.2.4.2).

Utilizando este criterio ya se está en condiciones de calcular el calor total que se necesita transmitir por convección aplicando el balance de energía global a la caldera mostrado en E 8:10:

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{Q}_{RADIACIÓN\ HOGAR} + \dot{Q}_{RADIACIÓN\ CHOQUE} + \dot{Q}_{CONVECCIÓN} \quad E\ 8:10$$

Donde:

$$\dot{Q}_{RADIACIÓN\ HOGAR} = \dot{Q}_{GV}$$

Los resultados del calor transmitido por convección en todo el sistema y el calor de radiación absorbido en la zona de choque se recogen en la Tabla 8-V.

TRANSMISIÓN DE CALOR	kJ/h
$\dot{Q}_{abs}$	$3.72 \cdot 10^9$
$\dot{Q}_{RADIACIÓN\ HOGAR}$	$1.07 \cdot 10^9$
$\dot{Q}_{RADIACIÓN\ CHOQUE}$	$6.13 \cdot 10^8$
$\dot{Q}_{CONVECCIÓN}$	$2.04 \cdot 10^9$

Tabla 8-V Balance de energía en la caldera de vapor

El siguiente paso es el cálculo del calor absorbido por radiación por cada fila de tubos y la obtención de la superficie del banco. Utilizando la correlación geométrica mostrada en la Figura 8-III, se puede obtener el factor de forma para cada fila.

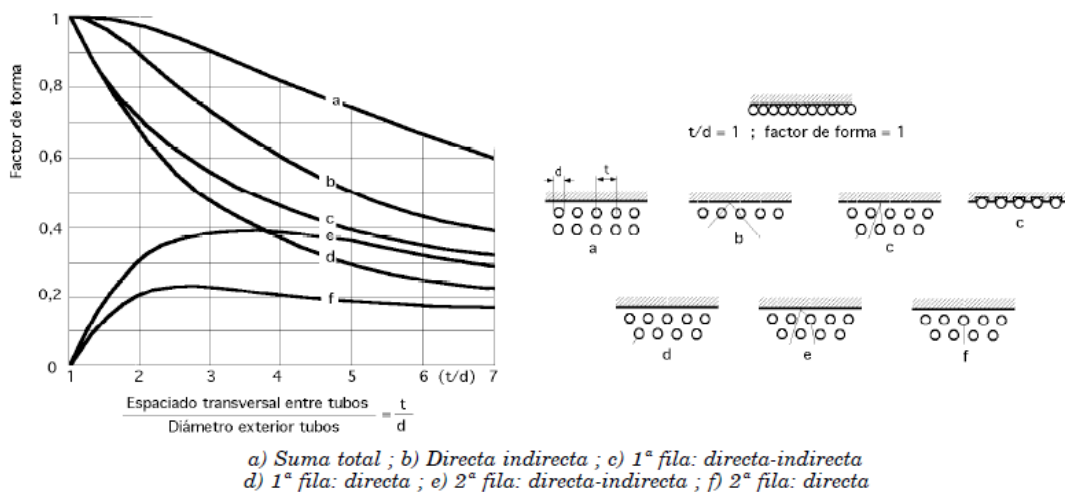


Figura 8-III Efecto de la geometría de tubos de la zona de choque sobre la absorción de calor (Foster Wheeler, 2010)

El diámetro externo de los tubos escogidos (como se indica en el apartado 8.3.1) es de 50.8 mm (2 inch) y la separación transversal entre tubos se fija en 127mm (5 inch).

El factor de forma para la primera fila es de 0.55 (curva d). Con éste valor se aplica la Ley de Stefan-Boltzmann (E 8:4) para calcular el calor absorbido por cada fila y el área total e los tubos que conforman la pantalla. Los resultados se muestran en la Tabla 8-VI.

$\dot{Q}_{FILA\ 1}$	$3.37 \cdot 10^8$	kJ/h
$\dot{Q}_{FILA\ 2}$	$1.85 \cdot 10^8$	kJ/h
$\dot{Q}_{FILA\ 3}$	$1.02 \cdot 10^8$	kJ/h
$\dot{Q}_{TOTAL}$	$6.13 \cdot 10^8$	kJ/h
$A_{CHOQUE}$	588	m <sup>2</sup>

Tabla 8-VI Calor absorbido por las tres filas de la zona de choque y área total del banco de tubos

El área de choque se calcula para obtener el valor de la difusividad térmica. Sin embargo, al ser una parte del sobrecalentador, el área de la superficie termo-intercambiadora siempre será mayor ya que incluye la zona de convección.

Con el flujo de calor total transmitido por radiación y el área requerida se puede calcular el coeficiente de difusividad térmica por radiación en el sobrecalentador aplicando la ecuación E 8:5.

$$D = \frac{\dot{Q}_{RADIACIÓN\ CHOQUE}}{A_{CHOQUE}} = \frac{6.13 \cdot 10^8 \text{ kJ/h} / 3600}{588 \text{ m}^2} = 289 \text{ kW/m}^2$$

### 8.2.4.2 CONVECCIÓN EN EL SOBRECALENTADOR

La temperatura del GC a la salida del sobrecalentador se calcula conociendo el calor que se intercambia en el sub-equipo por convección (ver E 8:9) y la temperatura de entrada al sobrecalentador que es igual a la temperatura de salida del hogar.

$$\dot{Q}_{SC \text{ CONVECCIÓN}} = \dot{Q}_{SC} - \dot{Q}_{RADIACIÓN \text{ CHOQUE}} = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{SCs}}^{T_B} c_{p_i} \cdot dT) \quad E 8:11$$

E 8:11

$T_B$ : Temperatura de GC de salida del hogar (K)

$T_{SCs}$ : Temperatura de GC de salida del sobrecalentador (K)

La Tabla 8-VII muestra la temperatura obtenida:

$\dot{Q}_{SC \text{ CONVECCIÓN}}$	$4.91 \cdot 10^8$	kJ/h
$T_{SCs}$	1074	°C

Tabla 8-VII Calor absorbido por convección en el sobrecalentador y temperatura de salida del GC

La variación de temperatura del GC en el sobrecalentador es de 186 °C. Esta temperatura es 86°C superior a la temperatura de aproximación de 100°C sugerida para trabajar en un sobrecalentador (Silla, 2003). La diferencia no es alta si se entiende que la temperatura de aproximación es un valor estimativo. Esto demuestra la validez de las consideraciones utilizadas para calcular la transmisión de calor por radiación en la zona de choque.

### 8.2.4.1 SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL SOBREALENTADOR

---

Para obtener el área exterior de los tubos del sobrecalentador se asume una distribución homogénea del flujo de temperatura y que la transmisión de calor es función de un coeficiente de transmisión de calor global E 8:12 (Coulson, y otros, 2008).

$$\dot{Q}_{SC} = U_{SC} \cdot A_{SC} \cdot LMTD \quad E 8:12$$

E 8:12

$U_{SC}$ : Coeficiente global de transferencia de calor ( $\frac{kJ}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$ )

$A_{SC}$ : Área de la zona de convección ( $m^2$ )

$LMTD$ : Diferencia de temperatura media corregida

El coeficiente global de transferencia de calor de un sobrecalentador se puede estimar (Wallas, 1990) asumiendo un margen de error (que se corrige en el sobre-diseño) mediante la expresión E 8:13:

$$U_{SC} = a + b \cdot G + c \cdot G^2 \cdot \left(\frac{4.5}{d}\right)^2 \quad E 8:13$$

$$a = 2.461 - 0.756 \cdot z + 1.625 \cdot z^2$$

$$b = 0.7655 + 21.373 \cdot z - 9.6625 \cdot z^2$$

$$c = 9.7938 - 30.809 \cdot z + 14.333 \cdot z^2$$

$$z = T/1000$$

E 8:13 (Wallas, 1990)

T: Temperatura en la superficie externa del tubo ( $^\circ F$ )

G: Flujo másico ( $\frac{lb}{ft^2 \cdot s}$ )

d: Diámetro exterior del tubo (inch).

En favor del sobre-diseño se considera T como la temperatura del GC a la salida, que es la temperatura más baja que alcanza el GC en el sobrecalentador.



El diámetro exterior del tubo se obtiene de las dimensiones seleccionadas como se explica en el apartado 8.3.1, y para el flujo másico se utiliza un valor estimativo  $G=2 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{s}$  (Severns, y otros, 1982).

El resumen de los datos utilizados y el resultado se proporciona en la Tabla 8-VIII.

$d$	2	inch
$G$	2	$\text{lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{s}$
$T$	1965	$^{\circ}\text{F}$
$a \text{ SC}$	7.25	-
$b \text{ SC}$	5.45	-
$c \text{ SC}$	4.60	-
$U_{SC}$	44.77	$\text{BTU}/\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{F}$
$U_{SC}$	<b>0.25</b>	$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

Tabla 8-VIII Coeficiente global de transferencia de calor en el sobrecalentador

Con el dato obtenido se puede calcular el superficie de intercambio (Tabla 8-IX) aplicando E 8:12

$\dot{Q}_{SC}$	$1.10 \cdot 10^9$	kJ/h
$U_{SC}$	0.25	$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
$LMTD_{SC}$	716	$^{\circ}\text{C}$
$A_{SC}$	<b>758</b>	$\text{m}^2$

Tabla 8-IX Área de intercambio del sobrecalentador

758  $\text{m}^2$  es el área total requerida para el intercambio de calor en el sobrecalentador. 588  $\text{m}^2$  conforman la zona de choque. La zona que abarca 170  $\text{m}^2$  solo se calienta mediante el mecanismo de convección.

### 8.2.5 RECALENTADOR

- El coeficiente global de transmisión de calor permanece constante

Ya que la temperatura de salida del sobrecalentador es igual a la temperatura de entrada del recalentador, se puede aplicar E 8:14 para obtener la temperatura del GC a la salida El resultado se refleja en la Tabla 8-X.

$$\dot{Q}_{RC} = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{RCs}}^{T_{SCs}} C_{p_i} \cdot dT) \quad E\ 8:14$$

E 8:14

$T_{SCs}$ : Temperatura de GC de salida del sobrecalentador (K)

$T_{RCs}$ : Temperatura de GC de salida del recalentador (K)

$\dot{Q}_{RC}$	$5.44 \cdot 10^8$	kJ/h
$T_{RCs}$	846	°C

Tabla 8-X Calor absorbido en el recalentador y temperatura del GC a la salida

### 8.2.5.1 SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL RECALENTADOR

Para calcular la superficie termo-intercambiadora del recalentador se procede de la misma manera que se ha seguido para resolver el cálculo en el sobrecalentador.

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor constante, requiere considerar que tanto el recalentador como el economizador son semejantes a un intercambiador de carcasa (por donde circula el GC) y tubos (por donde circula el agua). Por esta razón se puede utilizar el valor sugerido por bibliografía para intercambio de producto de combustión con vapor.

El valor del el coeficiente global de transferencia de calor se estima en  $0.5 \text{ kW}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$  (Sinnott, y otros, 2012). El área se obtiene aplicando E 8:12 Los resultados se muestran en la Tabla 8-XIV.

$\dot{Q}_{RC}$	$5.44 \cdot 10^8$	kJ/h
$U_{RC}$	0.5	$\text{kW}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$
$LMTD_{RC}$	502	°C
$A_{RC}$	<b>603</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

Tabla 8-XI Área de intercambio del recalentador

### 8.2.6 ECONOMIZADOR

En el apartado 8.2.3 se obtuvo la temperatura de salida del GC del economizador a partir de la temperatura del hogar mediante el balance global a la transmisión de calor de la caldera. Con esa temperatura y la temperatura de entrada al economizador (que es la misma que la temperatura de salida del recalentador) se puede recalculer el calor absorbido mediante E 8:15 y comparar los resultados para comprobar que no se han cometido errores en el cálculo de la distribución de flujo de temperaturas en la caldera.

$$\dot{Q}_{EC} = \dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{ECs}}^{T_{RCs}} C_{p_i} \cdot dT) \quad E\ 8:15$$

E 8:15

$T_{RCs}$ : Temperatura de GC de salida del recalentador (K)

$T_{ECs}$ : Temperatura de GC de salida del economizador (K)

La comparación de los valores se muestra en la Tabla 8-XII:

$\dot{Q}_{EC}$ (obtenido del balance de energía)	$1.0030 \cdot 10^9$	kJ/h
$T_{ECs}$	389	°C
$\dot{n}_{GC} \cdot \sum (x_i \cdot \int_{T_{ECs}}^{T_{RCs}} C_{p_i} \cdot dT)$	$1.0052 \cdot 10^9$	kJ/h

Tabla 8-XII Calor absorbido en el recalentador y temperatura del GC a la salida

La pequeña diferencia de kilojulios en comparación con el calor total que se obtiene entre los dos resultados proviene del procedimiento de prueba y error aplicado a la resolución de cada integral numérica para obtener las temperaturas donde la tolerancia del error se ha fijado en las décimas.

### 8.2.6.1 SUPERFICIE DE INTERCAMBIO DEL ECONOMIZADOR

El valor del área de intercambio de calor se obtiene de manera análoga a como se ha realizado en el apartado 8.2.5.

Los datos utilizados en la E 8:12 y el resultado del cálculo se muestra en Tabla 8-XIII.

$\dot{Q}_{EC}$	$1.00 \cdot 10^9$	kJ/h
$U_{EC}$	0.5	$kW / m^2 \cdot ^\circ C$
$LMTD_{EC}$	312	$^\circ C$
$A_{EC}$	<b>1788</b>	$m^2$

Tabla 8-XIII Área de intercambio del economizador

### 8.2.1 RESUMEN DE FLUJO DE CALOR, DISTRIBUCIÓN DE TEMERATURA Y SUPERFICIES DE INTERAMBIO

La transmisión de energía y la distribución de temperatura en las diferentes partes de la caldera de vapor se resumen en la Tabla 8-XIV.

TEMPERATURA	$^\circ C$	FLUJO DE CALOR	kJ/h
$T_{HOGAR}$	<b>1400</b>	$\dot{Q}_{GV}$	<b><math>1.07 \cdot 10^9</math></b>
$T_B/T_{SCe}$	<b>1260</b>	$\dot{Q}_{SC}$	<b><math>1.10 \cdot 10^9</math></b>
$T_{SCs}/T_{RCe}$	<b>1074</b>	$\dot{Q}_{RC}$	<b><math>5.44 \cdot 10^8</math></b>
$T_{RCs}/T_{ECe}$	<b>846</b>	$\dot{Q}_{EC}$	<b><math>1.00 \cdot 10^9</math></b>
$T_{ECs}$	<b>389</b>	$\dot{Q}_{abs}$	<b><math>3.72 \cdot 10^9</math></b>

Tabla 8-XIV Distribución de temperatura y flujo de calor en la caldera de vapor

SUPERFICIE	$m^2$
<b>GENERADOR DE VAPOR</b>	<b>1218</b>
<b>SOBRECALENTADOR</b>	<b>758</b>
<b>RECALENTADOR</b>	<b>603</b>
<b>ECONOMIZADOR</b>	<b>1788</b>

Tabla 8-XV Superficies termo-intercambiadoras

---

## **8.3 TAMAÑO DE LA CALDERA DE VAPOR**

---

### **8.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS**

---

#### **8.3.1.1 ACERO REQUERIDO**

---

El material que se recomienda para los tubos es el acero inoxidable austenítico sin soldadura XA704 de composición 18Cr-9Ni-2W—Nb-V-Ni (Nippon Steel & Sumitomo Metal, 2015).

Concretamente, las composiciones en peso del material en cromo varían entre 17-20%, 8-11% de níquel, y presenta un 0.05% máximo de carbono. Otros aleantes presentes son wolframio, vanadio, manganeso, silicio y niobio.

El acero austenítico que conforma los tubos tiene las siguientes propiedades:

- Máxima resistencia a termo-fluencia y al ataque por corrosión generalizada a alta temperatura. Esto habilita su utilización para conformar los tubos de refrigeración del hogar y la pantalla de sobrecalentador y recalentador de la caldera de vapor.
- Excelente resistencia a diversos tipos de corrosión localizada problemática en calderas: Corrosión intergranular, por picadura y corrosión-erosión.
- Buena resistencia mecánica y a la fatiga del material. Minimiza la sinergia entre el desgaste mecánico y el desgaste químico para acabar con el material, aumentando la vida media de éste.

#### **8.3.1.2 DIMENSIONES DE TUBOS ESTANDARIZADAS**

---

La caldera se diseña para operar con el mismo tipo de tubo pero con dos tipos de tubos diferentes.

Los tubos de mayor diámetro exterior pero con menor espaciado lateral conforman el generador de vapor (Tabla 8-XVI). El ratio entre diámetro y separación es de 2.5 (The Babcock & Wilcox Co, 2007).

<b>GENERADOR DE VAPOR</b>				<b>Separación lateral</b>
<b>Espesor en BWG</b>		<b>Diámetro externo</b>	<b>Unidades</b>	<b>25.4 mm</b>
<b>Gauge</b>	0.12	2 ½	inch	
<b>10</b>	2.98	63.50	mm	

Tabla 8-XVI Dimensiones de los tubos del generador de vapor acorde con la ASTM A1016/A1016M-14 (ASTM International, 2015)

El resto de las superficies termo-intercambiadoras están formadas por tubos con las dimensiones especificadas en Tabla 8-XVII. El espaciado lateral se calcula en el apartado 8.2.4.1.

<b>SOBRECALENTADOR, RECALENTADOR y ECONOMIZADOR</b>				<b>Separación lateral</b>
<b>Espesor en BWG</b>		<b>Diámetro externo</b>	<b>Unidades</b>	<b>127 mm</b>
<b>Gauge</b>	0.12	2	inch	
<b>10</b>	2.98	50.80	mm	

Tabla 8-XVII Dimensiones de los tubos del sobrecalentador, recalentador y economizador acorde con la ASTM A1016/A1016M-14 (ASTM International, 2015)

### **8.3.2 DIMENSIONES DEL HOGAR Y DE LOS HAZES DE TUBOS**

Las coordenadas X, Y, Z se utilizarán para referirse al largo, alto y ancho respectivamente exceptuando el sobrecalentador, que debido a su disposición horizontal el largo corresponde a la dimensión Y y el alto a la X.

El hogar se divide en cuatro paredes idénticas que contienen al generador de vapor dividido en bancos de tubos verticales de 50 columnas por pared y fila única (Foster Wheeler, 2010).

La geometría del hogar se calcula como se muestra a continuación:

$$X_{HOGAR} = (e_{tubos\ GV} \cdot N_{columnas\ H}) + e_{tubos\ GV}$$

$$Y_{HOGAR} = \frac{A_{GV}}{4 \cdot N_{columnas\ H} \cdot N_{filas\ H} \cdot (\pi \cdot d_{GV})}$$

$$Z_{HOGAR} = X_{HOGAR}$$

$$V_{HOGAR} = X_{HOGAR} \cdot Y_{HOGAR} \cdot Z_{HOGAR}$$

Para el resto de superficies termo-intercambiadoras se elige una distribución de 25 columnas x 25 filas a partir de la zona de choque que delimita el hogar. La geometría de los bancos de tubos que conforman el sobrecalentador, recalentador y economizador se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$X = (e_{tubos} \cdot N_{columnas}) + e_{tubos}$$

$$Y = \frac{A_{BANCO\ DE\ TUBOS}}{N_{columnas} \cdot N_{filas} \cdot (\pi \cdot d)}$$

$$Z = X$$

$$V = X \cdot Y \cdot Z$$

Los resultados se proporcionan en la Tabla 8-XVIII.

DIMENSIONES	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>HOGAR</b>	<b>4.5</b>	<b>30.5</b>	<b>4.5</b>	<b>609.8</b>
<b>SOBRECALENTADOR</b>	<b>7.6</b>	<b>4.6</b>	<b>4.6</b>	<b>158.9</b>
<b>RECALENTADOR</b>	<b>4.6</b>	<b>6.0</b>	<b>4.6</b>	<b>126.3</b>
<b>ECONOMIZADOR</b>	<b>4.6</b>	<b>17.9</b>	<b>4.6</b>	<b>374.7</b>

Tabla 8-XVIII Dimensiones de la caldera de vapor

## 8.4 RENDIMIENTO FINAL DE LA CALDERA

Se obtiene mediante el método de cálculo indirecto de pérdidas de eficiencia sugerido por la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME, 2013). Se consideran las cuatro fuentes mayoritarias de disminución de rendimiento.

### 8.4.1 PÉRDIDAS DE EFICIENCIA

- Pérdida debido al calor sensible de los humos no aprovechado:

$$L1 = \frac{H_{GC \text{ salida}}}{\dot{m}_{FUEL} \cdot PCS} \cdot 100$$

$$L1 = \frac{\dot{n}_{GC} \cdot \sum(x_i \cdot \int_{T_{REF}}^{T_{ECs}} C_{p_i} \cdot dT)}{\dot{m}_{FUEL} \cdot PCS} \cdot 100$$

- Pérdida debido al calor sensible y calor latente absorbido por el agua proveniente de la humedad del combustible y de la combustión del hidrógeno.

$$L2 = \frac{(597.77 + 0.45 \cdot T_{ECs}) - T_{AMBIENTE}}{\dot{m}_{FUEL} \cdot PCS} \cdot \left( \frac{\dot{m}_{H2O \text{ FUEL}}}{\dot{m}_{FUEL}} + 18 \cdot \frac{\dot{m}_{H2 \text{ FUEL}}}{\dot{m}_{FUEL}} \right) 100$$

- Pérdida debido al calor sensible y calor latente absorbido por la humedad introducida con el comburente:

$$L3 = \frac{\dot{m}_{H2O \text{ COMBURENTE}} \cdot (h_{H2O \text{ ECs}} - h_{SAT})}{\dot{m}_{FUEL} \cdot PCS} \cdot 100$$

- Margen de pérdidas debido a factores que intervienen en los mecanismos de la radiación y convección:

$$L4 = 0.01 \cdot 100$$



Porcentaje de pérdidas	%
<i>L1</i>	<b>15.57</b>
<i>L2</i>	<b>0.84</b>
<i>L3</i>	<b>0.13</b>
<i>L4</i>	<b>1</b>

Tabla 8-XIX Resultados de porcentaje de pérdidas

$$\eta_{Caldera} = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4)$$

$$\eta_{Caldera} = 82.45\%$$

La interpretación de este dato determina que la caldera se ha sobre-diseñado y su tamaño permite consumir una cantidad ligeramente mayor de combustible a la necesaria para generar el vapor requerido por el ciclo de potencia. Esto es conveniente de cara al proceso, ya que dependiendo de diversos factores, como las fluctuaciones de la composición del carbón o las condiciones atmosféricas, la eficiencia de la caldera de vapor puede variar y producir cambios en los requerimientos de flujo combustible y de exceso de comburente.

## **8.5 CONTROL DE TEMPERATURA DEL GAS DE COMBUSTIÓN**

La pérdida de eficiencia de caldera mayoritaria se produce debido al calor sensible de los humos que no se aprovecha.

La temperatura de salida del GC es la variable que representa esta cantidad de energía pérdida y por tanto se desarrolla un sistema de control en lazo cerrado para regular su valor con el objetivo de que se mantenga estable en torno a su temperatura de diseño, 389°C.

El sistema de control planteado persigue:

- Disminuir el efecto de las perturbaciones.
- Optimizar el rendimiento de la caldera.
- Asegurar que la combustión se produce de manera estable.

La Tabla 8-XX resume los elementos del sistema de control.

Controlador	PID
Actuador	Válvula neumática
Instrumentación	Sensor de temperatura

Variable controlada	Temperatura del gas de combustión a la salida de la caldera
Variable manipulada del sistema	Apertura de la válvula neumática
Variable manipula del proceso	Flujo de alimentación de combustible pulverizado
Referencia	Temperatura del GC de diseño

*Tabla 8-XX Elementos del sistema de control con realimentación*

Las principales perturbaciones del sistema son:

- Cambio en las condiciones del aire atmosférico
- Cambio en la composición del combustible

La respuesta del controlador se producirá atendiendo a la diferencia entre el valor de referencia especificado y la temperatura del GC proporcionada por el sensor. La cadena de eventos sucesivos que se produce en el sistema de control es la siguiente:

- 1) El comparador registra la discrepancia de valores entre temperatura medida y temperatura de referencia.
- 2) Envía el resultado al regulador, que lo evalúa mediante los términos proporcional, integral y derivativo.
- 3) El regulador determina la respuesta del sistema y envía una señal de acción al actuador, una válvula neumática.
- 4) La válvula aumenta o disminuye su apertura en función de la señal enviada por el regulador y el flujo de combustible disminuye o aumenta respectivamente.
- 5) El proceso se corrige debido al cambio de flujo de alimentación.

La Figura 8-IV representa el lazo de control planteado.

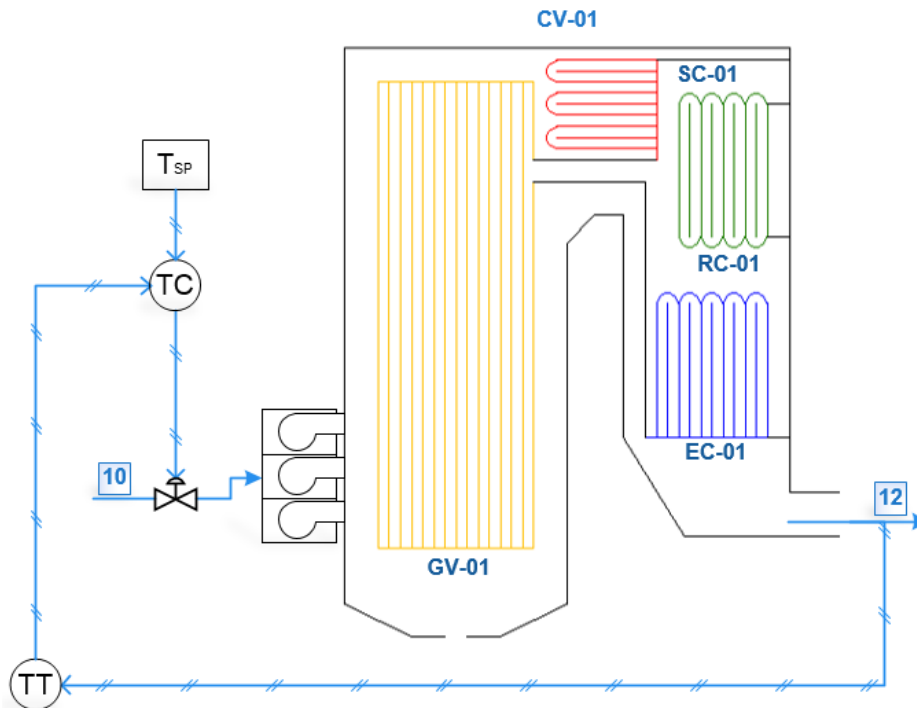


Figura 8-IV Sistema de control de la temperatura del GC a la salida de la caldera de vapor

Por motivos de seguridad, el actuador utilizado tiene una función de transferencia (relación matemática entre la señal de entrada y de salida) de signo positivo. Esto asegura que, en caso de que el controlador dejase de emitir señal debido a un fallo del sistema, la válvula se encontraría completamente cerrada e imposibilitaría el paso de combustible a la caldera.

En el caso opuesto la válvula tendría una apertura del 100% y el flujo de combustible a la caldera sería máximo.

Además se emplea una válvula neumática debido al riesgo que una señal eléctrica generaría al estar tan próxima a la fuente de combustible.

Para ejemplificar el funcionamiento del sistema de control y explicar el tipo de acción de control se plantea la situación de que la temperatura de salida fuese superior a la temperatura de referencia.

La secuencia de eventos de ser éste el caso es la siguiente:

- 1) El valor del error, que es la diferencia entre temperatura de referencia y temperatura medida, es negativo.
- 2) La señal emitida por el controlador también disminuye y el grado de apertura de la válvula se reduce.
- 3) El flujo de combustible de alimentación disminuye y se libera menos cantidad de energía en la caldera.
- 4) La temperatura de salida del GC se corrige.

---

## 8.6 BIBLIOGRAFÍA

---

**American Society of Mechanical Engineers. ASME.** 2013. *Performance Test Codes: PTC 4 – Fired Steam Generators*. s.l. : American Society of Mechanical Engineers.

**ASTM International.** 2015. *ASTM A1016/A1016M-14; Standard Specification for General Requirements for Ferritic Alloy Steel, Austenitic Alloy Steel, and Stainless Steel Tubes*. West Conshohocken : American Society for Testing and Materials. DOI 10.1520/A0249\_A0249M-14A.

**Coulson, J. M. and Richardson, J. F.** 2008. *Ingeniería Química*. 3ª ed. Barcelona : Editorial Reverté, v. I. ISBN 978-84-291-7134-1.

**Foster Wheeler.** 2010. XVIII - Calderas, sobrecalentadores y recalentadores. *Scribd*. [En línea] 2010. [Consultado: 9 de julio de 2015.] <http://www.scribd.com/doc/26681206/18-Calderas#scribd>.

**Kern, D. Q.** 1950. *Process Heat Transfer*. 2<sup>nd</sup> ed. Tokyo : McGraw-Hill.

**Moran, M. J., y otros.** 2012. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 7<sup>th</sup> ed. s.l. : John Wiley & Sons, Inc.. ISBN 13 978-0470-49590-2.

**Nippon Steel & Sumitomo Metal.** 2015. *Seamless Steel Tubes and Pipes for Boilers*. Tokyo : Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation.

**Perry, R. H. y Green, D. W.** 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8<sup>th</sup> ed.. Madrid : McGraw-Hill, v. I y II. ISBN 0071511253.

**Poling, B. E. y O'Connell, J. P.** 2001. *The Properties of Gases and Liquids*. 5<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill.. ISBN 0070116822.

**Severns, W. H., Degler, H. E. y Miles, J. C.** 1982. *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. [trad.] José Batlle Gayán. 5ª ed. Barcelona : Editorial Reverté.. ISBN 84-291-4890-6.

**Silla, H.** 2003. *Chemical Process Engineering: Design And Economics*. Nueva York : Marcel Dekker. ISBN. 0-203-91245-4.

**Sinnott, R. y Towler, G.** 2012. *Diseño en Ingeniería Química*. Barcelona : Editorial Reverté. ISBN 978-84-291-7199-0.

**The Babcock & Wilcox Co.** 2007. *Steam, Its Generation and Use*. 35<sup>th</sup> ed. Nueva York : s.n. ISBN 0963457012.

**Wallas, Stanley M.** 1990. *Chemical Process Equipment*. 313 Washington Street Newton, MA 02158-1626 : Butterworth-Heinemann.. ISBN 0-7506-9385-1.

## 8.7 SCRIPT DESARROLADO PARA LA RESOLUCIÓN DEL DISEÑO

```

clear all
clc
% -----UNIDADES Y NOMENCLATURA-----
% Temperatura= T(°C)
% Presion= P (bar)
% Flujo másico de agua/vapor= mW (kg/h)
% Flujo másico de carbón= mFuel (kg/h)
% A= Área(m2)
% D= Difusividad térmica (kJ/m2·K)
% Variación de entalpía respecto a C.R.= h(componente) (kJ/mol)
% Entalpía de corriente= E (kJ)
% Calor intercambiado= Q(kJ)
% Poder calorífico de carbón superior PCS (kJ/kg)
% Corrientes= numeros enteros. Subíndice indica número de corriente
% acorde con el diagrama de flujo
% Flujo másico de agua/vapor= mW (kg/h)
% Flujo másico de carbón= mFuel (kg/h)
% GV=generador de vapor
% SC=sobrecalentador
% EC=economizador
% RC=recalentador

% -----REFERENCIA Y TABLAS-----
% •i(componente)= indica la resolución de la integral entre dos
temperturas
% para estudiar el cambio de entalpía.
% •Los coeficientes del calor específico a presión constante para un
ajuste
% polinómico se encuentran en el anexo de Materia prima y se han
obtenido
% del libro THE PROPERTIES OF GASES AND LIQUIDS.
% Autores:(BRUCE E. POLING y JOHN P.Ó'CONNELL)

% -----CONSIDERACIONES REALIZADAS-----
% •Regimen estacionario.
% •Se emplea el criterio egoista de signos.
% •Cálculo de variaciones de entalpía en gases realizado en
consideración de
% condiciones isobáricas.
% •La entalpía de una corriente es siempre su variación respecto a
C.R.
% •Difusión de calor considerada constante.
% •Temperatura del hogar constante e igual a la temperatura de
difusividad
% media.
% •El acero que conforma los tubos tiene una conductividad térmica
alta.
% •Las iteraciones se resuelven planteando una igualdad a cero en las
% expresiones. Sin embargo, debido a los órdenes de magnitud de
energía del
% proceso, estos valores nunca se hacen cero, ya que tan solo se
ajustan
% las temperaturas en las unidades, tolerando error en las décimas.
Las

```

```

% iteraciones son correctas y se comprueba facilmente cambiado una
unidad
% arriba o abajo la incógnita planteada(normalmente la temperatura)
que
% producirá el cambio inmediato de signo de la igualdad.

% -----DATOS-----
%CONSTANTES
R=8.31; %Constante de los gases (J/mol·K)
sigma=5.670373*10^(-8); %constante de Stefan-Boltzmann (W/(m^2·K^4))
%PESOS MOLECULARES (kg/kmol)
PmN2=28;
PmO2=32;
PmSO2=64;
PmCO2=44;
PmH2O=18;
PmNO=30;
PmCO=28;

%DATOS DE COMBUSTIBLE, MATERIALES
PCS=25506; %(kJ/kg)
efGV=0.8;
emi=0.7;%emisividad
%Isóbara de 170 bar
hf=1690.0; %kJ/kg
hg=2547.5; %kJ/kg
h1=3432.6;%Corriente 1
h9=885.7; %Corriente 9

% CAPACIDAD CALORÍFICA A PRESIÓN CTE
% Expresión de cálculo: a0+a1*T+a2*(T.^(2))+a3*(T.^(3))+a4*(T.^(4))

%COEFICIENTES del polinomio
%DIÓXIDO DE CARBONO CO2
a0C=3.259;
a1C=1.356*10^(-3);
a2C=1.502*10^(-5);
a3C=-2.374*10^(-8);
a4C=1.056*10^(-11);
%MONÓXIDO DE CARBONO CO
a0CO=3.912;
a1CO=-3.913*10^(-3);
a2CO=1.182*10^(-5);
a3CO=-1.302*10^(-8);
a4CO=0.515*10^(-11);
%MONÓXIDO DE NITRÓGENO NO
a0NO=4.534;
a1NO=-7.644*10^(-3);
a2NO=2.066*10^(-5);
a3NO=-2.156*10^(-8);
a4NO=0.806*10^(-11);
%Agua H2O
a0V=4.395;
a1V=-4.186*10^(-3);
a2V=1.405*10^(-5);
a3V=-1.564*10^(-8);
a4V=0.632*10^(-11);
%DIÓXIDO DE AZUFRE SO2

```

```

a0S=4.417;
a1S=-2.234*10^(-3);
a2S=2.334*10^(-5);
a3S=-3.271*10^(-8);
a4S=1.393*10^(-11);
%OXÍGENO
a0O=3.630;
a1O=-1.794*10^(-3);
a2O=0.658*10^(-5);
a3O=-0.601*10^(-8);
a4O=0.179*10^(-11);
%NITROGENO
a0N=3.539;
a1N=-0.261*10^(-3);
a2N=0.007*10^(-5);
a3N=0.157*10^(-8);
a4N=-0.099*10^(-11);

% -----DATOS OBTENIDOS DE BALANCES-----
%PROCEDENTE DE BALANCE DE MATERIA
nAIRE=59791; %kmol/h %moles de aire
nGC=62138; %kmol/h %moles de gas de combustión
mW=1.2471*10^(6); % (kg/h) %caudal de agua requerido por el ciclo
%COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE EN PESO
Cfuel=61.14;
Hfuel=1.93;
Nfuel=1.08;
Sfuel=0.67;
Ofuel=2.84;
HUMfuel=10.81;
Ifuel=21.54;
%COMPOSICIÓN DE GAS DE COMBUSTIÓN EN VOLUMEN
COfume=0.45;
CO2fume=14.50;
HUMfume=5.41;
NOfume=1.51;
SO2fume=0.06;
O2fume=3.34;
N2fume=74.73;
%COMPOSICIÓN DE COMBURENTE EN VOLUMEN
O2aire=20.82;
N2aire=78.333;
HUMaire=0.84;
%PROCEDENTE DE BALANCE DE ENERGÍA
Qabs=3.7204*10^(9); % (kJ/h)

% -----CONDICIONES DE REFERENCIA -----
% T= 25°C; P= 1bar; Estado de agregación: Estado normal a esas
condiciones
Pref=1;
Tref=25;
Ti=Tref+273.15; % (K)

% -----TRANSMISIÓN DE CALOR -----
Qced=Qabs/efGV; % (kJ/h)
mFUEL=Qabs/(PCS*efGV); % (kg/h)

%REQUERIMIENTOS DE LOS SUBEQUIPOS (kJ/h)

```



```

Qec=(hf-h9)*mW;
Qsc=(h1-hg)*mW;
Qgv=(hg-hf)*mW;
Qrc=Qabs-(Qec+Qsc+Qgv);
porcentaje1=((Qec+Qgv)/Qabs)*100;
porcentaje2=((Qrc+Qsc)/Qabs)*100;

%•RADIACIÓN EN EL HOGAR•
Thogar=1400; % (°C)
Th=273.15+Thogar; % (K)
Ttubos=352.3; % (°C) %Temperatura de saturación de H2O a 170 bar
Tt=273.15+Ttubos; % (K)

Agv=((Qgv*1000)/3600)/(((Th.^(4))-Tt.^(4))*emi*sigma);
Dgv=((Th.^(4))-Tt.^(4))*emi*(sigma/1000); %Difusividad (kW/m2)
Deq=Dgv*(0.9487*3600*(0.3048^(2))); %Difusividad (BTU/h ft2)

Diametro_tuboH=63.5; %mm
O1=Diametro_tuboH/1000; %m

%DIMENSIONES HOGAR
Area_tuboH=(0.25*Agv)+Agv;
Circunferencia_tuboH=O1*pi; %m
separacionH=25.4/1000; % (m)
columnas=50;
anchoH=((separacionH+O1)*columnas)+separacionH %m
largoH=anchoH;
LtuboH=Area_tuboH/(4*(Circunferencia_tuboH*columnas))
V_H=LtuboH*anchoH*largoH %m3

%CP de los gases desde salida del hogar hasta salida de la caldera

%Salida del hogar de GC
T_Hs=1260; %gráfica
Tb=273.15+T_Hs; % (K)

iC=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^(2))+a3C*(T.^(3))+a4C*(T.^(4))),Ti,Tb);
iCO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^(2))+a3CO*(T.^(3))+a4CO*(T.^(4))),T
i,Tb);
iV=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,Tb);
iS=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^(2))+a3S*(T.^(3))+a4S*(T.^(4))),Ti,Tb);
iNO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^(2))+a3NO*(T.^(3))+a4NO*(T.^(4))),T
i,Tb);
iO=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,Tb);
iN=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,Tb);

E_Hs=(1/100)*nGC*R*(CO2fume*iC+COfume*iCO+HUMfume*iV+SO2fume*iS+NOfume
*iNO+O2fume*iO+N2fume*iN); % (kJ/h)

%Salida de EC de GC
TGC_salida=389; %Obtenida mediante cálculo iterativo
Tf=273.15+TGC_salida; % (K)

i13C=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^(2))+a3C*(T.^(3))+a4C*(T.^(4))),Ti,Tf
);
i13CO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^(2))+a3CO*(T.^(3))+a4CO*(T.^(4))),
,Ti,Tf);

```

```

i13V=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,Tf
);
i13S=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^(2))+a3S*(T.^(3))+a4S*(T.^(4))),Ti,Tf
);
i13NO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^(2))+a3NO*(T.^(3))+a4NO*(T.^(4)))
,Ti,Tf);
i13O=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,Tf
);
i13N=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,Tf
);

```

```

E13=(1/100)*ngC*R*(CO2fume*i13C+COfume*i13CO+HUMfume*i13V+SO2fume*i13S
+NOfume*i13NO+O2fume*i13O+N2fume*i13N); %(kJ/h)

```

```

%Comprobación de CP a T salida de humos (J/mol·K)

```

```

CpN=(R)*((a0N+a1N*Tf+a2N*(Tf.^(2))+a3N*(Tf.^(3))+a4N*(Tf.^(4))));
CpS=(R)*((a0S+a1S*Tf+a2S*(Tf.^(2))+a3S*(Tf.^(3))+a4S*(Tf.^(4))));
CpV=(R)*((a0V+a1V*Tf+a2V*(Tf.^(2))+a3V*(Tf.^(3))+a4V*(Tf.^(4))));
CpC=(R)*((a0C+a1C*Tf+a2C*(Tf.^(2))+a3C*(Tf.^(3))+a4C*(Tf.^(4))));
CpO=(R)*((a0O+a1O*Tf+a2O*(Tf.^(2))+a3O*(Tf.^(3))+a4O*(Tf.^(4))));
CpNO=(R)*((a0NO+a1NO*Tf+a2NO*(Tf.^(2))+a3NO*(Tf.^(3))+a4NO*(Tf.^(4))));
;
CpCO=(R)*((a0CO+a1CO*Tf+a2CO*(Tf.^(2))+a3CO*(Tf.^(3))+a4CO*(Tf.^(4))));
;

```

```

Qconv=E_Hs-E13; %El calor que han cedido los humos (signo positivo, es
calor aportado por el combustible)

```

```

%Iteración para obtener la temperatura a la salida del EC

```

```

Qrad1=Qgv;
Qrad2=0.3*Qconv;

```

```

it1=Qabs-(Qconv+Qrad1+Qrad2); %este valor tiene que aproximarse a cero

```

```

%•PANTALLA DE CHOQUE•

```

```

F=0.95;
%RADIACIÓN DEL BANCO
%Se utiliza la temperatura del GC a la salida del hogar
Achoque=((Qrad2*1000)/3600)/(((Tb.^(4))-(Tt.^(4)))*F*sigma);
%it3=(AreaX*(((Tp.^(4))-(Tt.^(4)))*F*sigma)*(3600/1000))-Qrad2
Dchoque=((Tb.^(4))-(Tt.^(4)))*F*(sigma/1000); %Difusividad (kW/m2)
D_choque_eq=Dchoque*(0.9487*3600*(0.3048^(2))); %Difusividad (BTU/h
ft2)
%3 FILAS
Fb=0.55;
Qb1=Qrad2*Fb;
Qb2=Qb1*Fb;
Qb3=Qb2*Fb;
it3=Qb1+Qb2+Qb3-Qrad2;

```

```

O2=50.8/1000; %m
separacion2=2.5*O2; %separación entre tubos en función del diametro
(m)
O2_inch=O2*(100/2.54);

```

```

%•BANCO DE CONVECCIÓN•

```

```

%SOBRECALENTADOR
TSCsalida=1074; %Obtenida mediante cálculo iterativo

```

```

TSCs=273.15+TSCsalida; % (K)

iscC=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^ (2)) +a3C*(T.^ (3)) +a4C*(T.^ (4)) ),Ti,TS
Cs);
iscCO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^ (2)) +a3CO*(T.^ (3)) +a4CO*(T.^ (4)) )
,Ti,TSCs);
iscV=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^ (2)) +a3V*(T.^ (3)) +a4V*(T.^ (4)) ),Ti,TS
Cs);
iscS=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^ (2)) +a3S*(T.^ (3)) +a4S*(T.^ (4)) ),Ti,TS
Cs);
iscNO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^ (2)) +a3NO*(T.^ (3)) +a4NO*(T.^ (4)) )
,Ti,TSCs);
iscO=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^ (2)) +a3O*(T.^ (3)) +a4O*(T.^ (4)) ),Ti,TS
Cs);
iscN=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^ (2)) +a3N*(T.^ (3)) +a4N*(T.^ (4)) ),Ti,TS
Cs);
E_SCs=(1/100)*nGC*R*(CO2fume*iscC+COfume*iscCO+HUMfume*iscV+SO2fume*is
cS+NOfume*iscNO+O2fume*iscO+N2fume*iscN); % (kJ/h)

itSC=(Qsc-Qrad2)-(E_Hs-E_SCs); %este valor tiene que aproximarse a
cero

%COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR EN SC
G=2; %lb/s.ft2
f=(4.5/2)^(0.25);
Tfsc=(TSCsalida*(9/5))+32; %°F
z=Tfsc/1000;
aSC=2.461-0.759*(z)+(1.625*((z).^ (2)));
bSC=0.7655+21.373*(z)-(9.6625*((z).^ (2)));
cSC=9.7938-30.809*(z)+(14.333*((z).^ (2)));
Usceq=(aSC+bSC*(G)+(cSC*(G).^ (2)))*f; %BTU/h ft2 °F
Usc=(Usceq*1.8)/(3600*(0.3048^2)*0.9587) %kW/m2 °C

LMTDsc=((T_Hs-550)-(TSCsalida-Ttubos))/(log(((T_Hs-550)/(TSCsalida-
Ttubos)))) %agua circuito: desde T de saturación de agua hasta T de
vapor sobrecalentado

Asc=((Qsc-Qrad2)/3600)/(Usc*LMTDsc)

%DIMENSIONES DEL SC
separacionSC=127/1000; % (m)
circunferencia_tuboSC=02*pi; %m
area_tuboSC=(02.^ (2))* (pi/4);
columnaSC=25;
filaSC=25;
altoSC=((separacionSC+02)*columnaSC)+separacionSC
anchoSC=((separacionSC+02)*filaSC)+separacionSC
LtuboSC=Asc/(circunferencia_tuboSC*columnaSC*filaSC)
V_SC=LtuboSC*anchoSC*altoSC %m3

%RECALENTADOR
TRCsalida=846; %Obtenida mediante cálculo iterativo
TRCs=273.15+TRCsalida; % (K)

ircC=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^ (2)) +a3C*(T.^ (3)) +a4C*(T.^ (4)) ),Ti,TR
Cs);

```

```

ircCO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^(2))+a3CO*(T.^(3))+a4CO*(T.^(4))),Ti,TRCs);
ircV=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,TRCs);
ircS=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^(2))+a3S*(T.^(3))+a4S*(T.^(4))),Ti,TRCs);
ircNO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^(2))+a3NO*(T.^(3))+a4NO*(T.^(4))),Ti,TRCs);
ircO=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,TRCs);
ircN=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,TRCs);
E_RCs=(1/100)*nGC*R*(CO2fume*ircC+COfume*ircCO+HUMfume*ircV+SO2fume*ircS+NOfume*ircNO+O2fume*ircO+N2fume*ircN); % (kJ/h)

itRC=(Qrc)-(E_SCs-E_RCs); %este valor tiene que aproximarse a cero

LMTDrc=((TSCsalida-550)-(TRCsalida-366))/(log(((TSCsalida-550)/(TRCsalida-366)))) %agua circuito: desde T2(366) hasta T de vapor recalentado
Urc=0.5;
Arc=(Qrc/3600)/(Urc*LMTDrc)

%DIMENSIONES DEL RC
%Se utilizan las variables que coinciden del SC (nº de filas, nº de columnas)

LtuboRC=Arc/(circunferencia_tuboSC*columnaSC*filaSC)
V_RC=LtuboRC*anchoSC*altoSC %m3

%ECONOMIZADOR

itEC=Qec-(E_RCs-E13); %este valor tiene que aproximarse a cero:COMPROBACIÓN

LMTDec=((TRCsalida-Ttubos)-(TGC_salida-208))/(log(((TRCsalida-Ttubos)/(TGC_salida-208)))) %agua circuito: desde 208 hasta la T de saturación de agua
Uec=0.5
Aec=(Qec/3600)/(Uec*LMTDec)

%DIMENSIONES DEL EC
LtuboEC=Aec/(circunferencia_tuboSC*columnaSC*filaSC)
V_EC=LtuboEC*anchoSC*altoSC %m3

%TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LLAMA (Tx)

%COMBURENTE PRECALENTADO
T_prec=200;
Taire=273.15+T_prec; % (K)

a0=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,Taire);
aN=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,Taire);
aV=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,Taire);

```

```

E_aire=(1/100)*nAIRE*R*(HUMaire*aV+O2aire*aO+N2aire*aN); %(kJ/h)

%GAS DE COMBUSTIÓN
T_llama=1837;
Ta=273.15+T_llama; %(K)

xC=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^(2))+a3C*(T.^(3))+a4C*(T.^(4))),Ti,Ta);
xCO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^(2))+a3CO*(T.^(3))+a4CO*(T.^(4))),Ti,Ta);
xV=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,Ta);
xS=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^(2))+a3S*(T.^(3))+a4S*(T.^(4))),Ti,Ta);
xNO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^(2))+a3NO*(T.^(3))+a4NO*(T.^(4))),Ti,Ta);
xO=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,Ta);
xN=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,Ta);

E_llama=(1/100)*nGC*R*(CO2fume*xC+COfume*xCO+HUMfume*xV+SO2fume*xS+NOfume*xNO+O2fume*xO+N2fume*xN); %(kJ/h)

it2=((PCS*mFUEL)+E_aire)-E_llama; %este valor tiene que aproximarse a
cero

%•EFICIENCIA DE LA CALDERA (MÉTODO ASME)•
nHUMEDAD=3359;%humedad en GC
nGCseco=nGC-nHUMEDAD;

%ENALPIA GC A Tambiente=Tref
Tambiente=Tref; %gráfica
T8=273.15+Tambiente; %(K)

i6C=quad(@ (T) (a0C+a1C*T+a2C*(T.^(2))+a3C*(T.^(3))+a4C*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6CO=quad(@ (T) (a0CO+a1CO*T+a2CO*(T.^(2))+a3CO*(T.^(3))+a4CO*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6V=quad(@ (T) (a0V+a1V*T+a2V*(T.^(2))+a3V*(T.^(3))+a4V*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6S=quad(@ (T) (a0S+a1S*T+a2S*(T.^(2))+a3S*(T.^(3))+a4S*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6NO=quad(@ (T) (a0NO+a1NO*T+a2NO*(T.^(2))+a3NO*(T.^(3))+a4NO*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6O=quad(@ (T) (a0O+a1O*T+a2O*(T.^(2))+a3O*(T.^(3))+a4O*(T.^(4))),Ti,T8);
;
i6N=quad(@ (T) (a0N+a1N*T+a2N*(T.^(2))+a3N*(T.^(3))+a4N*(T.^(4))),Ti,T8);
;

Eamb=(1/100)*nGC*R*(CO2fume*i6C+COfume*i6CO+HUMfume*i6V+SO2fume*i6S+NOfume*i6NO+O2fume*i6O+N2fume*i6N); %(kJ/h)

E_perdidas=E13-Eamb; %kJ T GCsalida frente a T ambiente

%Las cuatro fuentes de pérdidas principales consideradas en ASME
L1=(E_perdidas/mFUEL)*(1/PCS)*100 %porcentaje de pérdidas humos

mHUM=19718;

```

```
mH=3520;
L2=(598+0.45*(TGC_salida-
Tambiente))*((mHUM/mFUEL)+((9*mH)/mFUEL))*(1/PCS)*100 %T en °C

mAS=1710441;
HUMaire=0.00529;
hsal=(597.77+0.45*TGC_salida)*4.125; %entalpia de vapor de salida a t
de humos
hsat=2521.6; %entalpia (kJ/kg) de vapor saturado seco a T ambiente
(11°C)
L3=HUMaire*(mAS/mFUEL)*(hsal-hsat)*(1/PCS)*100 %perdida por humedad en
ambiente

L4=0.01*100 %pérdidas debido a los mecanismos de radiación y
convección

eficienciaCV=100-(L1+L2+L3+L4)
```

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 9:  
DISTRIBUCIÓN EN CENTRAL





---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>9</b>	<b>DISTRIBUCIÓN EN CENTRAL .....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.2</b>	<b>ACCESOS A LA CENTRAL .....</b>	<b>9-1</b>
<b>9.3</b>	<b>DISTRIBUCIÓN POR ZONAS DE LA PARCELA .....</b>	<b>9-2</b>
9.3.1	CRITERIOS GENERALES DE DISTRIBUCIÓN .....	9-2
9.3.1.1	RESTRICCIONES DE SEGURIDAD.....	9-2
9.3.1.1	AISLAMIENTO DE ZONAS DE PELIGRO .....	9-3
9.3.1.2	DISTANCIA DE OPERACIÓN.....	9-3
9.3.1.3	CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	9-3
9.3.1.4	CRITERIO ECONÓMICO DE DISTRIBUCIÓN .....	9-3
9.3.2	ZONAS DE LA CENTRAL.....	9-4
<b>9.4</b>	<b>NÚMERO DE EMPLEADOS .....</b>	<b>9-4</b>
9.4.1	HORAS DE TRABAJO.....	9-4
9.4.2	TURNOS.....	9-4
9.4.2.1	HORARIO.....	9-5
9.4.3	VACACIONES .....	9-5
9.4.4	TIPO DE EMPLEADOS .....	9-5
<b>9.5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>9-7</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 9-I Imagen por satélite de la parcela .....	9-1
--	-----

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 9-I Separación recomendada de la distribución de unidades .....	9-2
Tabla 9-II Lista de empleados de la central térmica .....	9-6

---

---

---

## 9 DISTRIBUCIÓN EN CENTRAL

---

---

---

### 9.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA

---

La central va a estar ubicada en la en la comarca de Betanzos, A Coruña. La parcela tiene una superficie de 270,020 m<sup>2</sup> se muestra en la Figura 9-I.



*Figura 9-I Imagen por satélite de la parcela (Google, 2015)*

---

### 9.2 ACCESOS A LA CENTRAL

---

El acceso principal a la parcela consta de:

- Acceso para vehículos: una puerta corredera de 10 m de largo y 2.5 m de alto.
- Accesos peatonales: dos accesos de 2 m de largo y 2.5 m de alto, situados a ambos lados de la puerta principal.

La parcela está delimitada por un muro de hormigón de 1 m de altura sobre el cual se instala una alambrada de acero de 1.5 m de altura. (Mecklenburgh, 1978)

### **9.3 DISTRIBUCIÓN POR ZONAS DE LA PARCELA**

#### **9.3.1 CRITERIOS GENERALES DE DISTRIBUCIÓN**

##### **9.3.1.1 RESTRICCIONES DE SEGURIDAD**

Las distancia de seguridad entre unidades recomendadas se muestran en la Tabla 9-I.

Separación típica entre unidades		Distancia (m)
Entre unidades	A la unidad contigua, límite de una propiedad o calles principales	15
Calderas y hornos		15
Antorchas y chimeneas de purga		30
Plantas de tratamiento de efluentes		15
Torres de refrigeración		30
Gasómetros		30
Áreas de carga		15
Almacenes	A las unidades de proceso	30
Oficinas		30
Centro médico		30
Garaje		30
Parque de bomberos		30
Talleres		30
Calles principales		12
Calles principales	A las fachadas de los edificios, excluidos los cargaderos	9
Andenes y aceras		1,5
Ferrocarril		15

*Tabla 9-I Separación recomendada de la distribución de unidades (Mecklenburgh, 1978)*

De los datos recopilados en la Tabla 9-I tienen especial relevancia la distancia de 15 m de seguridad que se utiliza para las calderas de vapor y la distancia de 30 m aplicada a las torres de refrigeración.

### **9.3.1.1 AISLAMIENTO DE ZONAS DE PELIGRO**

Se debe dividir la distribución de los equipos en zonas peligrosas y zonas no peligrosas.

Todos aquellos equipos y partes de la central que producen un riesgo del mismo tipo se agrupan y se aíslan dentro de una zona de protección.

En una central térmica es común utilizar una pantalla de separación o un edificio completo como mecanismo de aislamiento. Las zonas de peligro se señalarán debidamente.

### **9.3.1.2 DISTANCIA DE OPERACIÓN**

Para facilitar el trabajo del empleado se ha de disminuir todo lo posible la distancia entre los equipos que pueda controlar la misma persona.

### **9.3.1.3 CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se debe tener en cuenta que tiene que existir siempre un espacio libre adyacente a los equipos para permitir el paso de unidades de construcción o mantenimiento.

### **9.3.1.4 CRITERIO ECONÓMICO DE DISTRIBUCIÓN**

El criterio más económico para la disposición de equipos es ubicarlos a nivel del suelo. El coste del metro cuadrado es menor que el coste requerido para construir las estructuras que soportan los equipos en varios niveles. Sólo se utilizarán varios pisos en dos casos:

- Cuando no se disponga de más terreno.
- Cuando lo requiera el proceso.

---

### **9.3.2 ZONAS DE LA CENTRAL**

---

- Zona A-1 y Zona A-2: Zona de acceso de vehículos de transporte de combustible y parque de carbón para alimentar a los grupos de la central.
- Zona B: Área de proceso, donde se ubica la caldera de vapor con el resto de equipos del ciclo de potencia.
- Zona C: Área de refrigeración, amplio espacio para ubicar las torres de refrigeración.
- Zona D: Espacio donde se ubican los edificios y oficinas donde trabaja el personal.

La distribución por zonas se visualiza en el **Plano 3**.

---

## **9.4 NÚMERO DE EMPLEADOS**

---

### **9.4.1 HORAS DE TRABAJO**

---

La central trabaja en régimen continuo de operación durante 334 días al año.

Acorde con el convenio laboral vigente establece los empleados dispondrán de una jornada laboral de 40 horas semanales de trabajo efectivo, con equivalencia a una jornada máxima de 1.788 horas anuales (Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2015).

### **9.4.2 TURNOS**

---

Debido a que el proceso de generación de electricidad es ininterrumpido durante las 24 horas del día, existen determinados puestos que debe ocupar un operario durante cada hora del régimen de operación. En la organización del trabajo y de los turnos se tendrá en cuenta que la jornada semanal contará con 48 horas consecutivas de descanso, que se distribuirán entre los trabajadores en turnos rotativos (Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2015).

### **9.4.2.1 HORARIO**

---

El horario de los empleados se establece acorde con la hora de la península, UTC+01:00 y UTC+02:00 en verano.

- Para los empleados que trabajan cinco días a la semana, el horario es de 09 horas a 14 horas y de 16 horas a 19 horas (GMT +1)
- El horario especial para los empleados que trabajan siete días por semana se divide en tres turnos:
  - Turno 1: 06 horas a 14 horas
  - Turno 2: 14 horas a 22 horas
  - Turno 3: 22 horas a 06 horas

### **9.4.3 VACACIONES**

---

El régimen de vacaciones anuales retribuidas de los trabajadores será de veintidós días anuales.

### **9.4.4 TIPO DE EMPLEADOS**

---

El número y tipo de empleados se determinará en función del número de operaciones de la central, las tareas administrativas, de mantenimiento y de servicios –siguiendo las directrices recomendadas en bibliografía:

Por cada técnico que trabaje en la central debe de haber 5 operarios no cualificados, 4 especialistas y 2 administrativos. (Vian Ortuño, 1969)

En la Tabla 9-II se muestra un listado completo de los 140 empleados que trabajan de la central.

Puesto	Nº de empleados	Días por semana	Personas por turno
<b>Técnicos y personal de la dirección</b>			
Ingeniero de proceso	4	5	4
Químico	2	5	2
Responsable de seguridad y medio ambiente	2	5	2
Técnico de control e instrumentación	5	7	1
Director general	1	5	1
Gerente	1	5	1
<b>Personal especializado</b>			
Electricista	10	7	2
Fontanero	6	7	1
Mecánico	6	7	1
Enfermero	10	7	2
Técnico de laboratorio	16	7	4
<b>Operarios</b>			
Operario de caldera de vapor	10	7	2
Operario de turbina	8	7	2
Operario de condensador	8	7	2
Operario de sistema de bombas	4	7	2
Operario de desgasificador	6	7	2
Operario de molinos de pulverización	6	7	2
Operario de generación eléctrica	4	7	2
Operario de sistema de refrigeración	6	7	2
Operario de carga de combustible	6	7	2
<b>Personal administrativo</b>			
Administrativos	8	5	4
Sociólogo (administrar y mejorar las relaciones con la comunidad)	1	5	1
Contable	6	5	3
Secretario del director	1	5	1
Secretario del gerente	1	5	1
Recepcionista	2	5	2

Tabla 9-II Lista de empleados de la central térmica



---

## 9.5 BIBLIOGRAFÍA

---

**Google.** 2015. *Google Maps*. [En línea] [Consultado: 8 de agosto de 2015.] <https://www.google.es/maps/place/15310+Teijeiro,+La+Coru%C3%B1a/@43.1521194,8.0120936,1161m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0xd2e3c19d8d3e503:0xa04f5850127e310!6m1!1e1>.

**Mecklenburgh, J. C.** 1978. *Implantación de plantas*. Madrid : Ediciones del Castillo. ISBN 9788421901632.

**Ministerio de Empleo y Seguridad Social.** 2015. VI Convenio colectivo estatal de gestorías administrativas. *Boletín Oficial del Estado*. [En línea] [Consultado: 8 de abril de 2015].

**Vian Ortuño, Á.** 1969. *El pronóstico económico en química industrial*. [ed.] Pearson Education. Madrid : Alhambra. ISBN 9788420501857.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ANEXO 10:  
EVALUACIÓN ECONÓMICA



---



---

## ÍNDICE

---



---

<b>10</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>10-1</b>
<b>10.1</b>	<b>COSTES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>10-1</b>
10.1.1	COSTES DE FABRICACIÓN.....	10-1
10.1.1.1	MATERIA PRIMA .....	10-1
10.1.1.2	PATENTES .....	10-1
10.1.1.3	MANO DE OBRA DIRECTA.....	10-2
10.1.1.4	LABORATORIO .....	10-3
10.1.1.5	TÉCNICOS Y DIRECTIVOS.....	10-3
10.1.1.1	MANO DE OBRA INDIRECTA .....	10-4
10.1.1.2	SERVICIOS GENERALES .....	10-4
10.1.1.3	CONSERVACIÓN .....	10-4
10.1.1.4	SUMINISTROS .....	10-5
10.1.1.5	ENVASADO .....	10-5
10.1.1.6	EXPEDICIÓN .....	10-5
10.1.1.7	ALQUILERES.....	10-5
10.1.1.8	IMPUESTOS .....	10-5
10.1.1.9	SEGURO DE LA CENTRAL.....	10-6
10.1.2	COSTES DE GESTIÓN .....	10-6
10.1.2.1	GERENCIA.....	10-6
10.1.2.2	GASTOS COMERCIALES .....	10-6
10.1.2.3	GASTOS FINANCIEROS .....	10-6
<b>10.2</b>	<b>RESUMEN DE LOS COSTES DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>10-7</b>
<b>10.3</b>	<b>CAPITAL INVERTIDO .....</b>	<b>10-7</b>
10.3.1	CAPITAL INMOVILIZADO .....	10-8
10.3.1.1	CAPITAL FÍSICO .....	10-8
10.3.1.2	MAQUINARIA Y APARATOS.....	10-8
10.3.1.3	INSTRUMENTACIÓN.....	10-9
10.3.1.4	INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	10-10
10.3.1.5	AISLAMIENTO TÉRMICO.....	10-10
10.3.1.6	TERRENO Y EDIFICACIÓN .....	10-10
10.3.1.7	INSTALACIONES AUXILIARES.....	10-11
10.3.1.8	CAPITAL DIRECTO .....	10-11
10.3.1.9	CONTRATA DE OBRAS .....	10-11
10.3.1.10	GASTOS IMPREVISTOS .....	10-11

10.3.2	CAPITAL CIRCULANTE .....	10-12
10.3.2.1	MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES .....	10-12
10.3.2.2	MATERIAS EN FABRICACIÓN.....	10-12
10.3.2.3	RESERVA DE PRODUCTO FABRICADO EN ALMACÉN...	10-13
10.3.2.4	VENTAS PENDIENTES DE COBRO A UN MES VISTA.....	10-13
10.3.2.5	DISPONIBLE EN CAJAS Y BANCOS .....	10-13
<b>10.4</b>	<b>RENTABILIDAD DEL PROCESO .....</b>	<b>10-13</b>
10.4.1	BENEFICIO BRUTO ANUAL .....	10-13
10.4.2	BENEFICIO BRUTO PORCENTUAL ANUAL.....	10-14
10.4.3	BENEFICIO NETO ANUAL .....	10-14
10.4.4	BENEFICIO NETO PORCENTUAL ANUAL .....	10-15
<b>10.5</b>	<b>PERÍODO DE RECUPERACIÓN.....</b>	<b>10-15</b>
<b>10.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>10-16</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 10-I	Cantidad y coste de combustible por año .....	10-1
Tabla 10-II	Cálculo de salarios de mano de obra directa .....	10-2
Tabla 10-III	Cálculo de salarios de técnicos y personal directivo .....	10-3
Tabla 10-IV	Resumen de las partidas de los costes de fabricación y gestión	10-7
Tabla 10-V	Partida de capital físico .....	10-8
Tabla 10-VI	Coste de equipos de la central térmica .....	10-9
Tabla 10-VII	Reserva para un mes de fabricación .....	10-12

## 10 EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 10.1 COSTES DE PRODUCCIÓN

#### 10.1.1 COSTES DE FABRICACIÓN

##### 10.1.1.1 MATERIA PRIMA

Cada grupo individual de los cinco que operan en la central térmica consume 182,330 kg/h de carbón. La Tabla 10-I muestra el consumo anual de los cinco grupos.

Combustible	Cantidad (tm/año)	Precio(€/tm)	Coste (€/año )
Carbón	7,293,200	80.41	586,446,212

*Tabla 10-I Cantidad y coste de combustible por año*

El coste total es de 586 MM€/año. El coste estimado de materia prima para 2000 MW de potencia en el Anexo de Tamaño de Proyecto es de 597 MM /año. Esto corrobora la afirmación realizada en ese anexo de que el porcentaje de error cometido en la estimación es pequeño, del 1.80%.

Materia prima = 586,446,212 €/año

##### 10.1.1.2 PATENTES

No se ha utilizado ningún tipo de patente. Coste de la partida nulo.

### 10.1.1.3 MANO DE OBRA DIRECTA

Es el coste de los empleados de la central que trabajan en puestos relacionados con el proceso de fabricación. Los salarios de los trabajadores se calculan según el grupo profesional al que pertenecen, incluyendo los pluses y el coste de la Seguridad Social. Los últimos datos de los que se disponen son del año 2014; se utiliza el Índice de Precios Consumo (IPC) para actualizarlos al 2015.

En el Anexo 4 Estudio de Mercado se realizan todos los cálculos relacionados con el IPC obteniéndose:

- IPC<sub>2014</sub>: 103.73
- IPC<sub>2015</sub>: 105.85

En la Tabla 10-II se muestran el salario y coste de la mano de obra directa.

Puesto (€/año:)	Sueldo base 2014	Sueldo base 2015	Plus	Segurid ad social	Nº total	NETO
-----------------	------------------	------------------	------	-------------------	----------	------

Mano de obra directa						
Electricista	20,997	21,426	8,369	6,437	10	362,321
Fontanero	20,997	21,426	8,369	6,437	6	217,393
Mecánico	20,997	21,426	8,369	6,437	6	217,393
Técnico de laboratorio	20,997	21,426	8,369	6,437	16	579,714
Operario de caldera de vapor	16,570	16,909	6,606	5,080	10	285,947
Operario de turbina	16,570	16,909	6,606	5,080	8	228,757
Operario de condensador	16,570	16,909	6,606	5,080	8	228,757
Operario de sistema de bombas	16,570	16,909	6,606	5,080	4	114,379
Operario de desgasificador	16,570	16,909	6,606	5,080	6	171,568
Operario de molinos de pulverización	16,570	16,909	6,606	5,080	6	171,568
Operario de generación eléctrica	16,570	16,909	6,606	5,080	4	114,379
Operario de sistema de refrigeración	16,570	16,909	6,606	5,080	6	171,568
Operario de carga de combustible	16,570	16,909	6,606	5,080	6	171,568

Tabla 10-II Cálculo de salarios de mano de obra directa

Mano de obra directa = 3,035,311 €/año

#### 10.1.1.4 LABORATORIO

Esta partida corresponde al coste del equipamiento instalado en el laboratorio de la central, su mantenimiento y el coste añadido de los análisis de composición del carbón para comprobar su calidad como combustible.

Se estima en el 30% del coste de la mano de obra directa (Vian Ortuño, 1969).

Laboratorio = 910,593 €/año

#### 10.1.1.5 TÉCNICOS Y DIRECTIVOS

Partida que incluye el coste de los sueldos de técnicos, director general y gerente. El IPC se aplica al salario base de 2014 de la misma manera que se hace en el apartado 10.1.1.3. Los resultados se muestran en la Tabla 10-III.

Puesto (€/año:)	Sueldo base 2014	Sueldo base 2015	Plus	Seguridad social	Nº total	NETO
-----------------	------------------	------------------	------	------------------	----------	------

Técnicos y personal de la dirección						
Ingeniero de proceso	29,854	30,464	11,910	9,152	4	206,105
Químico	29,854	30,464	11,910	9,152	2	103,052
Responsable de seguridad y medio ambiente	29,854	30,464	11,910	9,152	2	103,052
Técnico de control e instrumentación	29,854	30,464	11,910	9,152	5	257,631
Director general	37,853	38,627	15,101	11,604	1	65,332
Gerente	29,854	30,464	11,910	9,152	1	51,526

Tabla 10-III Cálculo de salarios de técnicos y personal directivo

Técnicos y directivos = 786,698 €/año



### **10.1.1.1 MANO DE OBRA INDIRECTA**

La mano de obra indirecta constituye a todo el personal adscrito a tareas que no corresponden directamente al proceso productivo, pero que colaboran en el funcionamiento general de los servicios de la central.

De los 140 empleados totales la mano de obra indirecta está formada por 29 empleados. El capital invertido en esta partida será el mismo que se invierte para la partida de técnicos y directivos.

Mano de obra indirecta = 786,698 €/año

### **10.1.1.2 SERVICIOS GENERALES**

Tanto la electricidad, como el vapor y el agua de refrigeración están dentro de la línea de producción. Coste de la partida nulo.

### **10.1.1.3 CONSERVACIÓN**

Partida que agrupa el conjunto de gastos originados por la revisión periódica de maquinaria, equipos e instrumentación, la sustitución previsor de piezas desgastadas y las reparaciones necesarias para mantener los elementos de fabricación en condiciones de funcionamiento eficiente.

Los gastos de conservación se estiman en un 6% del capital físico (Vian Ortuño, 1969).

Conservación = 36,156,027 €/año

#### **10.1.1.4 SUMINISTROS**

---

Engloba los costes de la central no incluidos en el proceso de fabricación como el lubricante de la turbina o la ropa de los operarios. Se estima en el 1.5% del coste del inmovilizado (Vian Ortuño, 1969).

Suministros = 12,365,361 €/año

#### **10.1.1.5 ENVASADO**

---

El proceso genera energía eléctrica. Coste de la partida nulo.

#### **10.1.1.6 EXPEDICIÓN**

---

La energía eléctrica se envía directamente a las líneas de alta tensión. Coste de la partida nulo.

#### **10.1.1.7 ALQUILERES**

---

Se compra tanto el terreno como los equipos. Coste de la partida nulo.

#### **10.1.1.8 IMPUESTOS**

---

Esta partida incluye la carga de impuestos relacionadas con el proceso (terreno y edificios). Se estima como el 0.5% del inmovilizado.

Impuestos = 41,217,871 €/año

### **10.1.1.9 SEGURO DE LA CENTRAL**

No incluye a los trabajadores de la central, constituye el 0.5 % del inmovilizado.

Seguro de la central = 41,217,871 €/año

### **10.1.2 COSTES DE GESTIÓN**

#### **10.1.2.1 GERENCIA**

Esta partida constituye el gasto administrativo. Además se tiene en cuenta el coste casado por el funcionamiento de las oficinas para completar el valor de la partida. Este coste se evalúa como el 3 % del coste de fabricación.

Gerencia = 21,687,679 €/año

#### **10.1.2.2 GASTOS COMERCIALES**

La generación de electricidad no es un proceso nuevo que se tenga que dar a conocer. Se estima en el 5% del coste de fabricación, que es un valor poco conservador.

Gastos comerciales = 36,146,132 €/año

#### **10.1.2.3 GASTOS FINANCIEROS**

Se estima como el 10% del capital invertido. Corresponde a los intereses que se debe pagar a la entidad financiera que ha prestado el capital de inversión.

Gastos financieros = 98,234,200 €/año

## 10.2 RESUMEN DE LOS COSTES DE PRODUCCIÓN

En la Tabla 10-IV se engloba el coste de las tres partidas.

Costes de fabricación		Costes de gestión	
Partidas	Coste (€/año )	Partidas	Coste (€/año )
Materia prima	586,446,212	Gerencia	21,687,679
Patentes	0	G. Comercial	36,146,132
Mano de obra directa	3,035,311	G. Financiero	98,234,200
Laboratorio	910,593	TOTAL	156,068,011
Técnicos y directivos	786,698		
Mano de obra indirecta	786,698		
Servicios generales	0		
Conservación	36,156,027		
Suministros	12,365,361		
Envasado	0		
Expedición	0		
Alquileres	0		
Impuestos	41,217,871		
Seguro	41,217,871		
TOTAL	722,922,641		

Tabla 10-IV Resumen de las partidas de los costes de fabricación y gestión

Costes de producción = 878,990,652 €/año

## 10.3 CAPITAL INVERTIDO

Es la suma del capital inmovilizado y del capital circulante.

Capital invertido = 982,342,002 €

### **10.3.1 CAPITAL INMOVILIZADO**

---

El coste total del inmovilizado se calcula adicionado al coste directo el coste de contrata por obras y el coste de gastos imprevistos. Para calcular estos valores se tiene que determinar el coste de las partidas explicadas a continuación:

$$\text{Capital inmovilizado} = 824,357,413 \text{ €}$$

#### **10.3.1.1 CAPITAL FÍSICO**

---

También denominado capital primario, comprende desde la partida de maquinaria y aparatos hasta la partida de instalaciones auxiliares.

El resumen de las partidas que engloba el capital físico y el coste total se muestra en la Tabla 10-V.

<b>Partida</b>	<b>Euros</b>
Maquinaria y aparatos	408,010,720
Instrumentación	31,385,440
Instalación eléctrica	47,078,160
Aislamiento térmico	21,969,808
Terreno y edificación	15,692,720
Instalaciones auxiliares	78,463,600
<b>Capital físico</b>	<b>602,600,448</b>

*Tabla 10-V Partida de capital físico*

#### **10.3.1.2 MAQUINARIA Y APARATOS**

---

Partida que engloba el coste de los equipos que participan en el proceso de generación. Se calcula utilizando el software desarrollado por Matches; la Tabla 10-VI muestra los resultados obtenidos.

	Coste grupo individual	Coste 5 grupos
Caldera de vapor	29,236,900	146,184,500
Condensador	6,613,000	33,065,000
Conjunto de torres de refrigeración	-	41,861,400
Turbina de vapor	18,459,400	92,297,000
Tanque de almacenamiento	54,300	271,500
Molinos de pulverización	35,000	175,000

*Tabla 10-VI Coste de equipos de la central térmica (Matches, 2015)*

El precio de equipos como el sistema de bombas o el desgasificador que tienen un bajo coste se incluye dentro de la partida de instalaciones auxiliares.

El generador eléctrico no se incluye en esta partida, ya que entra dentro de la partida explicada en el apartado 10.3.1.4.

El coste de esta partida se aumenta en un 30% para incluir el coste de los equipos relacionados con el tratamiento de los gases contaminantes emitidos por la central.

Maquinaria y aparatos = 408,010,720 €

### **10.3.1.3 INSTRUMENTACIÓN**

Se puede aproximar al 10% de la partida de maquinaria y aparatos (Aries, y otros, 1955). La partida incluye el coste de toda la instrumentación de proceso y su instalación.

Instrumentación = 31,385,440 €

#### **10.3.1.4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

Constituye toda la infraestructura eléctrica que requiere la central, incluyendo las líneas de alta tensión. Se considera que su valor total es aproximadamente el 15% del coste de maquinaria y aparatos (Vian Ortuño, 1969).

Instalación eléctrica = 47,078,160 €

#### **10.3.1.5 AISLAMIENTO TÉRMICO**

Incluye el coste del material aislante, especialmente caro en el caso de la caldera de vapor. Se estima en el 7% del coste de la partida de maquinaria y aparatos (Vian Ortuño, 1969).

Aislamiento térmico = 21,969,808 €

#### **10.3.1.6 TERRENO Y EDIFICACIÓN**

Partida que engloba el valor del terreno junto con el coste de acondicionamiento y edificación. Depende del valor de la compra del terreno, de las condiciones climáticas y del tipo de producción.

Se puede estimar como un porcentaje del coste de la partida de maquinaria y aparatos. Dependiendo de si los equipos se encuentran en el interior de la edificación o no, este porcentaje varía (Vian Ortuño, 1969).

Los equipos de la central, se encuentran fundamentalmente instalados en el exterior. El porcentaje de aproximación es del 5%.

Terreno y edificación = 15,692,720 €

### **10.3.1.7 INSTALACIONES AUXILIARES**

---

Se refiere a los costes de servicios generales referentes a los costes de instalación y acceso hasta la planta. Estimado como el 25 % del coste de maquinaria y aparatos.

Instalaciones auxiliares = 78,463,600 €

### **10.3.1.8 CAPITAL DIRECTO**

---

También se conoce como capital secundario. Engloba el capital físico más la partida de honorarios de proyecto y dirección de montaje.

En total es un 20% del capital físico, que se reparte en dirección de obra, honorarios de proyecto y gestión de compra de equipos (Vian Ortuño, 1969).

Capital directo = 723,120,538 €

### **10.3.1.9 CONTRATA DE OBRAS**

---

Es función del tamaño, de la complejidad y de la localización de la planta. Se aproxima como un 4% del capital directo.

Contrata de obras = 28,924,822 €

### **10.3.1.10 GASTOS IMPREVISTOS**

---

Los gastos imprevistos se relacionan con los posibles errores generados de que mediante el proceso estimativo y subidas de precios desde la realización del proyecto a la puesta en marcha. Se estima como el 10% del capital directo.



Gastos imprevistos = 72,312,054 €

### **10.3.2 CAPITAL CIRCULANTE**

---

Se utiliza para calcular el capital invertido. Es la cantidad de capital utilizado para obtener las materias primas, materias auxiliares o pagar sueldos.

No se recupera hasta que el ciclo de fabricación concluya, se venda la electricidad generada y se cobre su importe.

Capital circulante = 157,984,589 €

#### **10.3.2.1 MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES**

---

La base de la estimación es una reserva igual a un mes de fabricación. Se refleja en la Tabla 10-VII.

Combustible	Cantidad (tm/mes)	Precio(€/tm)	Coste (€/mes)
Carbón	607,767	80.41	48,870,518

*Tabla 10-VII Reserva para un mes de fabricación*

Materias primas y auxiliares = 48,870,518 €

#### **10.3.2.2 MATERIAS EN FABRICACIÓN**

---

Se calcula como la mitad del coste de fabricación correspondiente al ciclo fabril.

El cuello de botella del proceso de generación de electricidad se ubica tanto en la carga de carbón como en el condensador. Debido a que los tiempos de residencia en los equipos que intervienen en el proceso electricidad suelen ser bajos, esta partida se estima nula.

---

**10.3.2.3 RESERVA DE PRODUCTO FABRICADO EN ALMACÉN**

---

No se tiene en cuenta la ceniza en el cálculo de la rentabilidad y la energía eléctrica generada no se almacena. Coste de partida nulo.

---

**10.3.2.4 VENTAS PENDIENTES DE COBRO A UN MES VISTA**

---

Esta valoración se realiza estimando la cantidad de carbón correspondiente a un mes. Tiene el mismo valor que la partida de materias primas y auxiliares.

Ventas pendientes = 48,870,518 €

---

**10.3.2.5 DISPONIBLE EN CAJAS Y BANCOS**

---

Se estima como el coste de fabricación por unidad de producto correspondiente a un mes de producción.

Disponibles en cajas y bancos = 60,243,553 €

---

**10.4 RENTABILIDAD DEL PROCESO**

---

Los resultados del balance económico y de la rentabilidad del proceso se miden mediante los siguientes valores:

---

**10.4.1 BENEFICIO BRUTO ANUAL**

---

Beneficio en función de los ingresos por ventas y el coste de producción para un período de un año. Los ingresos obtenidos de la venta de la electricidad se calculan en el Anexo de Tamaño de Proyecto. El valor asciende a 1,520,000,000 € anuales.

$$B_b = V - C$$

*E 10:1*

E 10:1

B<sub>b</sub>: Coste de producción (€)

V: Ingresos por ventas (€)

C: Beneficio bruto anual (€)

Beneficio bruto anual = 641,009,348 €

#### **10.4.2 BENEFICIO BRUTO PORCENTUAL ANUAL**

Beneficio en función de los ingresos por ventas, costes de producción y el capital invertido.

$$B_{bp} = \frac{B_b}{P} \cdot 100$$

*E 10:2*

E 10:2

B<sub>bp</sub>: Beneficio bruto anual (€)

P: Capital invertido (€)

Beneficio bruto porcentual anual = 65%

#### **10.4.3 BENEFICIO NETO ANUAL**

Incluye el impuesto de sociedades sobre el producto vendido, se calcula sobre un período de tiempo de un año.

$$B_n = B_b - U$$

*E 10:3*

E 10:3

B<sub>n</sub>: Beneficio neto anual (€)

U: Impuesto de sociedades (€)

Beneficio neto anual = 461,526,730 €

#### **10.4.4 BENEFICIO NETO PORCENTUAL ANUAL**

Beneficio neto llamado también rentabilidad neta.

$$B_{np} = \frac{B_n}{p} \cdot 100 \quad E 10:4$$

E 10:4

B<sub>np</sub>: Beneficio neto porcentual anual (€)

Beneficio neto porcentual anual = 47%

### **10.5 PERÍODO DE RECUPERACIÓN**

La inversión necesaria se realiza durante los dos primeros años, comenzando a funcionar la planta en el tercer año:

$$\textit{Periodo de recuperaci3n} = \frac{\textit{Capital invertido}}{\textit{Beneficio neto anual}} \quad E 10:5$$

El periodo de recuperaci3n es de 2.13 a~os, lo que quiere decir que despu3s de veinticinco meses y medio de funcionamiento de la central t3rmica se empieza a generar beneficios.

---

**10.6 BIBLIOGRAFÍA**

---

**Aries, R. y Newton, D.** 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. Nueva York : McGraw Hill.

**Matches.** 2015. Process Equipment. [En línea] [Consultado: 14 de agosto de 2015.] <http://www.matche.com/equipcost/EquipmentIndex.html>.

**Vian Ortuño, Á.** 1969. *El pronóstico económico en química industrial*. [ed.] Pearson Education. Madrid : Alhambra. ISBN 9788420501857.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

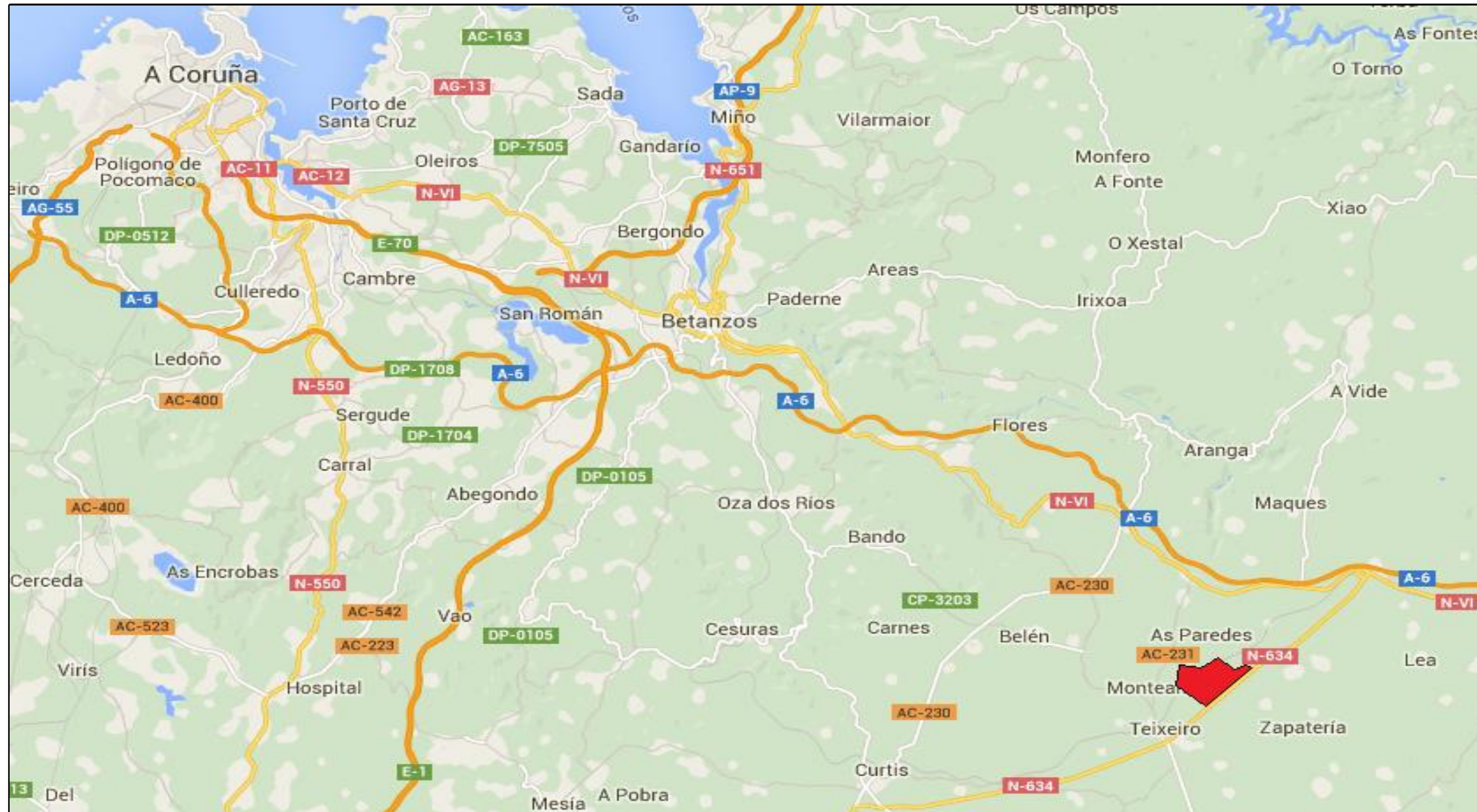


UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

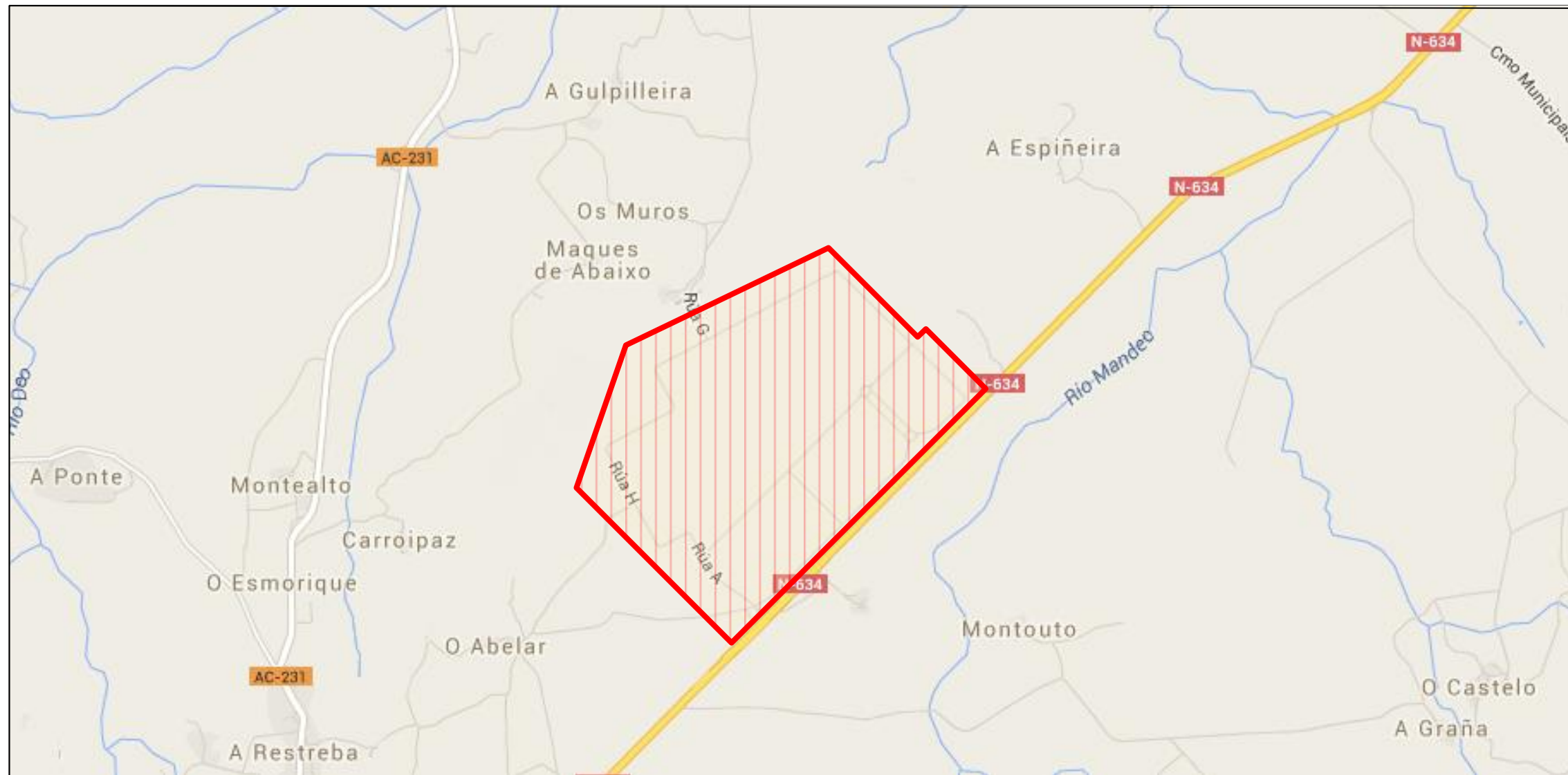
GUILLERMO MIRA OSUNA

PLANOS



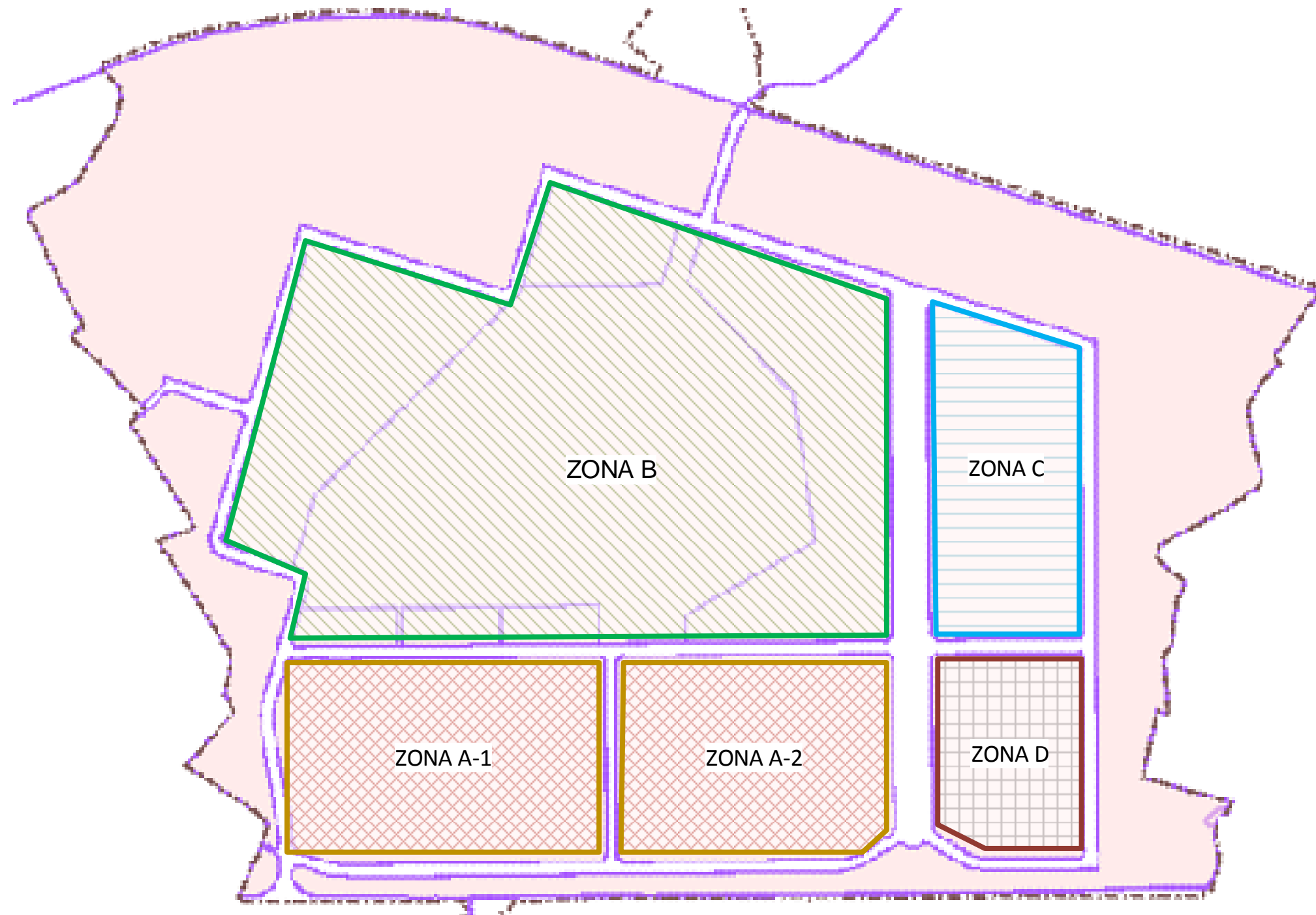
PROPIETARIO LEGAL		
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA		
TÍTULO DEL PROYECTO		
DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE CICLO CONVENCIONAL		
INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO	FIRMA	ESCALA
GUILLERMO MIRA OSUNA		1:400000
NOMBRE DEL PLANO	FECHA	Nº DE PLANO
SITUACIÓN DE LA PARCELA	7 MAYO 2015	1





PROPIETARIO LEGAL		
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA		
TÍTULO DEL PROYECTO		
DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE CICLO CONVENCIONAL		
INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO	FIRMA	ESCALA
GUILLERMO MIRA OSUNA		1:20000
NOMBRE DEL PLANO	FECHA	Nº DE PLANO
EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA	12 MAYO 2015	2



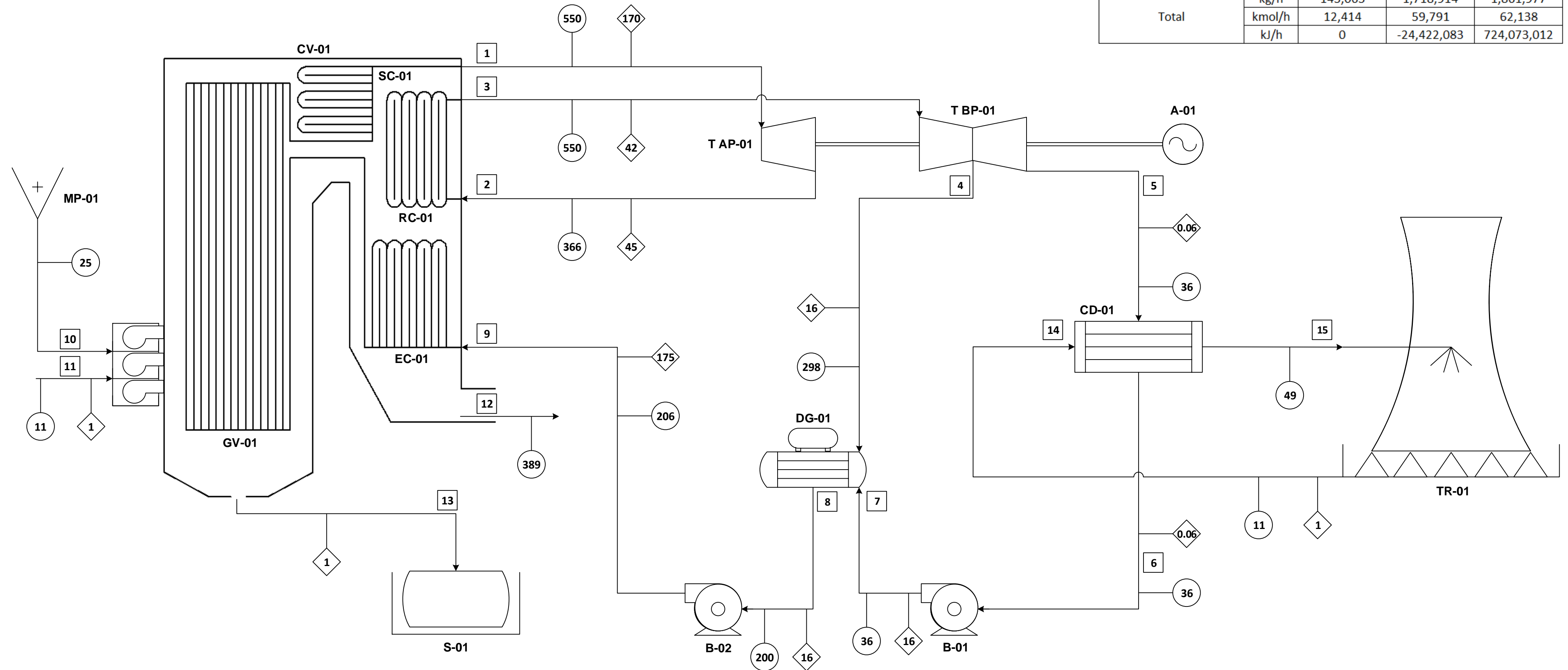


ZONA A-1	PARQUE DE CARBÓN
ZONA A-2	
ZONA B	ÁREA DE PROCESO
ZONA C	ÁREA DE REFRIGERACIÓN
ZONA D	OFICINAS DE LOS EMPLEADOS

PROPIETARIO LEGAL		
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA		
TÍTULO DEL PROYECTO		
DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE CICLO CONVENCIONAL		
INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO	FIRMA	ESCALA
GUILLERMO MIRA OSUNA		1:2000
NOMBRE DEL PLANO	FECHA	Nº DE PLANO
DISTRIBUCIÓN POR ZONAS	11 AGOSTO 2015	3

Ciclo de potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15	
Agua	kg/h	1,247,126	1,247,126	1,247,126	276,821	970,305	970,305	970,305	1,247,126	1,247,126	14,324,304	14,324,304
	kmol/h	69,285	69,285	69,285	15,379	53,906	53,906	53,906	69,285	69,285	795,795	795,795
	kJ/h	4,280,883,346	3,893,688,260	4,437,771,747	914,381,602	2,427,410,997	146,981,740	148,792,975	1,063,174,577	1,104,537,576	663,215,293	2,943,644,550

Combustible/Comburente		10	11	12
Carbono	kg/h	111,468	0	0
Monóxido de carbono	kg/h	0	0	7,803
Dióxido de carbono	kg/h	0	0	396,454
Hidrógeno	kg/h	3,520	0	0
Agua	kg/h	19,718	9,065	60,565
Azufre	kg/h	1,219	0	0
Dióxido de aufre	kg/h	0	0	2,439
Nitrógeno	kg/h	1,967	1,311,437	1,300,271
Monóxido de nitrógeno	kg/h	0	0	28,144
Oxígeno	kg/h	5,171	389,411	66,402
Total	kg/h	143,063	1,718,914	1,861,977
	kmol/h	12,414	59,791	62,138
	kJ/h	0	-24,422,083	724,073,012



LEYENDA DE EQUIPOS			
CV	CALDERA DE VAPOR	CD	CONDENSADOR
GV	GENERADOR DE VAPOR	TR	TORRE DE REFRIGERACIÓN
SC	SOBRECALENTADOR	B	BOMBA
RC	RECALENTADOR	DG	DESGASIFICADOR
EC	ECONOMIZADOR	S	TANQUE DE ALMACENAMIENTO
T AP	TURBINA ZONA DE ALTA PRESIÓN	MP	MOLINOS DE PULVERIZACIÓN
T BP	TURBINA ZONA DE BAJA PRESIÓN	A	ALTERNADOR

□	Número de identificación de corriente
○	Temperatura (°C)
◇	Presión (bar)

PROPIETARIO LEGAL		
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA		
TÍTULO DEL PROYECTO		
DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE CICLO CONVENCIONAL		
INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO	FIRMA	ESCALA
GUILLERMO MIRA OSUNA		SIN ESCALA
NOMBRE DEL PLANO	FECHA	Nº DE PLANO
DIAGRAMA DE PROCESO	27 JULIO 2015	4

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

PLIEGO DE CONDICIONES



---



---

## ÍNDICE

---



---

<b>PLIEGO DE CONDICIONES.....</b>	<b>PC-1</b>
<b>PC.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>PC-1</b>
PC.1.1  OBJETIVO DEL PLIEGO.....	PC-1
PC.1.2  OBJETIVO DEL PROYECTO.....	PC-1
PC.1.3  EMPLAZAMIENTO.....	PC-2
PC.1.4  NORMAS, REGLAMENTO Y ORDENANZAS PARA MATERIALES Y OBRA .....	PC-2
PC.1.4.1  NORMAS DE EDIFICACIÓN.....	PC-3
PC.1.4.2  NORMAS UNE .....	PC-4
PC.1.4.3  NORMAS ISO.....	PC-4
<b>PC.2 CONDICIONES GENERALES.....</b>	<b>PC-5</b>
PC.2.1  CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS .....	PC-5
PC.2.1.1  DISPOSICIONES GENERALES .....	PC-5
PC.2.1.2  TÉRMINOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES .....	PC-5
PC.2.1.3  INTERPRETACIÓN TÉCNICA .....	PC-6
PC.2.1.4  OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA.....	PC-6
PC.2.1.5  FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE LA OBRA .....	PC-8
PC.2.1.6  LIBRO DE ÓRDENES .....	PC-9
PC.2.1.7  REPLANTEO.....	PC-10
PC.2.1.8  COMIENZO, RITMO, PLAZO Y CONDICIONES GENERALES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.....	PC-10
PC.2.1.9  CONDICIONES GENERALES DE SUMINISTRO DE EQUIPOS .....	PC-11
PC.2.1.10  CONTRADICCIONES ENTRE PLIEGOS Y NORMAS.....	PC-12
PC.2.1.11  SIGNIFICADO DE LOS ENSAYOS.....	PC-13
PC.2.1.12  PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	PC-13
PC.2.1.13  CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS .....	PC-13
PC.2.1.14  PARTIDA DE ALZADA .....	PC-14
PC.2.1.15  RECEPCIÓN PROVISIONAL DE OBRAS.....	PC-14
PC.2.1.16  PERÍODO DE GARANTÍAS .....	PC-15
PC.2.1.17  RECEPCIÓN DEFINITIVA.....	PC-16
PC.2.1.18  DOCUMENTO FINAL DE LA OBRA.....	PC-17
PC.2.2  CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS .....	PC-17
PC.2.2.1  FIANZA.....	PC-18

PC.2.2.2	COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS .....	PC-18
PC.2.2.3	PRECIOS CONTRADICTORIOS .....	PC-20
PC.2.2.4	MEJORAS Y MODIFICACIONES.....	PC-20
PC.2.2.5	REVISIÓN DE PRECIOS .....	PC-20
PC.2.2.6	VALORACIÓN, MEDICIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS.....	PC-21
PC.2.2.7	PENALIZACIONES.....	PC-22
PC.2.2.8	SEGUROS Y CONSERVACIÓN DE LA OBRA.....	PC-22
PC.2.2.9	CONDICIONES DE PAGO.....	PC-23
PC.2.3	CONDICIONES GENERALES LEGALES .....	PC-24
PC.2.3.1	DISPOSICIONES LEGALES .....	PC-24
PC.2.3.2	CONTRATISTA .....	PC-31
PC.2.3.3	CONTRATO .....	PC-32
PC.2.3.4	ADJUDICACIÓN.....	PC-32
PC.2.3.5	ARBITRAJE Y JURISDICCIÓN COMPETENTE .....	PC-33
PC.2.3.6	RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTA.....	PC-34
PC.2.3.7	SUBCONTRATAS .....	PC-35
PC.2.3.8	IMPUESTOS .....	PC-36
PC.2.3.9	ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS....	PC-36
PC.2.3.10	SUSPENSIÓN DE CONTRATO .....	PC-38
PC.2.3.11	RESCISIÓN DEL CONTRATO.....	PC-38
<b>PC.3</b>	<b>CONDICIONES PARTICULARES.....</b>	<b>PC-42</b>
PC.3.1	DISPOSICIONES DE CARÁCTER PARTICULAR .....	PC-42
PC.3.2	DISPOSICIONES DE MATERIALES, EQUIPOS Y MAQUINARIA.....	PC-42
PC.3.2.1	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	PC-43
PC.3.2.2	MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	PC-43
PC.3.2.3	EQUIPOS .....	PC-47
PC.3.3	CONDICIONES DE EJECUCIÓN.....	PC-48
<b>PC.4</b>	<b>CONTRATO.....</b>	<b>PC-50</b>
<b>PC.5</b>	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPO PRINCIPAL .....</b>	<b>PC-59</b>
<b>PC.6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>PC-64</b>

---

---

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

---

---

---

### **PC.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

---

#### **PC.1.1 OBJETIVO DEL PLIEGO**

---

El Pliego de Condiciones constituye un conjunto de instrucciones para el desarrollo del Proyecto, y contiene:

- Las características técnicas que deben reunir los materiales.
- Las condiciones técnicas a observar en la ejecución de las distintas unidades de obra.
- El modo de valoración y medición.

Constituye un documento contractual, siéndole aplicable lo dispuesto en el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por el Real Decreto 1098/2001, de 12 de Octubre y el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales. Corrección de errores y erratas en BOE N<sup>o</sup> 34 de 08/02/2002.

#### **PC.1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO**

---

El objetivo de éste proyecto es el diseño de una central térmica con cinco grupos de 400 MW de potencia instalada para la producción de 16,000 GWh de electricidad cada año.

El diseño de equipos secundarios, el diseño de las líneas eléctricas, el diseño de sistemas de control e instrumentación, el diseño de los sistemas de alivio de presión y el diseño de válvulas y tuberías quedan fuera del alcance del proyecto.

---

**PC.1.3 EMPLAZAMIENTO**

---

La central se situará en la comarca de Betanzos, A Coruña, cuyas coordenadas exactas son 43° 09' 17.1" N 8° 00' 32.9" W. La disposición de los equipos e instalaciones en la parcela se establecerá según se expone en el presente proyecto. Sólo se podrá cambiar el emplazamiento debido a problemas surgidos en la construcción de la obra, el cambio debe ser avisado por la Dirección Técnica a la Propiedad.

---

**PC.1.4 NORMAS, REGLAMENTO Y ORDENANZAS PARA MATERIALES Y OBRA**

---

El Pliego de Condiciones prevalecerá sobre el contenido de las siguientes disposiciones de carácter particular de ámbito técnico.

- Real Decreto 919/2006, 28 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 al 11 BOE Nº 211 04/09/06. Modifica artículos (arts.) 3, 8 las ITC ICG 08 y 09, se sustituye lo indicado, se reenumera la disposición adicional única como 1 y se añaden las disposiciones adicionales 2 a 5, por Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo.

Orden FOM/891/2004, de 1 de Marzo, por la que se actualizan determinados artículos de Pliego de Prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a firmes y pavimentos BOE Nº 83 publicado el 06/04/04. Corrección de erratas en BOE núm. 126, de 25/05/04.

- Real Decreto 956/2008, de 6 de Junio, por el que se aprueba la instrucción para la recepción de cementos BOE Nº 148 publicado el 19/06/08. Corrección de erratas en BOE Nº 220 de 11/09/08.

- Orden FOM/475/2002, de 13 de Febrero, por la que se actualizan determinados artículos del Pliego de prescripciones Técnicas Generales para la obra de carreteras y puentes relativos a hormigones y aceros, BOE Nº 56 publicado el 06/03/02.

- Real Decreto 2267/2004, de 3 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales BOE Nº 303 publicado el 17/12/04. Modifica los arts. 4.2 y 5, por el Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo. Corrección de errores y erratas en BOE Nº 55 de 05/03/05.



- Real Decreto 315/2006, de 17 de Marzo, sobre la creación del Consejo sobre la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de Edificación BOE Nº 153 publicado el 24/06/10. Se declara la nulidad del art. 4.5d), por sentencia del Tribunal Supremo de 23 de Abril de 2010. Modifica los arts. 3 y 6 a 8, por el Real Decreto 1134/2008, de 4 de Julio.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de Marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Corrección de errores en BOE núm. 71 de 24 de Marzo de 2006. Corrección de erratas en BOE núm. 62 de 14 de Marzo de 2006.
- Ley 21/2013, de 9 de Diciembre, de evaluación ambiental. Declara en el recurso 1399/2014, BOE-A-2014-4050, con el alcance establecido en el fj.5, la inconstitucionalidad y nulidad de las disposiciones adicional 15, transitoria 2, derogatoria única 3 y finales 2 y 3, por sentencia 13/2015, de 5 de Febrero, BOE Nº 296 publicado el 11/12/13.
- Real Decreto 1124/2000, de 16 de Junio, por el que se modifica el Real Decreto 665/1992, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo BOE Nº 145 de 17/06/00.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de Noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, BOE Nº 302 de 19/12/06. Se dicta de conformidad. Disposición adicional 1, estableciendo el modelo de parte de enfermedad profesional, su tramitación y transmisión por medios electrónicos: Orden TAS /1/2007, de 02/01/07.

#### **PC.1.4.1 NORMAS DE EDIFICACIÓN**

- Normas básicas de edificación (NBE)
- Normas tecnológicas de edificación (NTE)
  - Relativas a cimentaciones
  - Relativas a estructuras de acero (EA)
  - Relativas a instalaciones de electricidad de alumbrado exterior (ICE)
  - Relativas a instalaciones de electricidad de puesta a tierra (JET)
  - Relativas a instalaciones de electricidad de red exterior (IR)
  - Relativas a instalaciones de electricidad de transformadores (IET)
  - Relativas a instalaciones de fontanería de abastecimiento (IFA)

- Relativas a instalaciones de salubridad de alcantarillado (ISA)
  - Relativas a instalaciones de salubridad de humos y gases (ISH)
  - Relativas a instalaciones de salubridad de depuración y vertidos (ISD)
- Reglamento del agua: Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Instrucciones EH-91 EP-80 para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Instrucciones para la fabricación y suministro de hormigón preparado (EHE-08). (Real Decreto 1247/2008)
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.
- Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión (R.D.223/2008). Modifica arts. 13.1, 16, 19, la ITC-LAT 03, se sustituye lo indicado, y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por el Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo. Corrección de errores en BOE N° 174 de 19/07/08. Corrección de erratas en BOE N° 120 de 17/05/08.
- Reglamento Electrotécnico de Líneas Baja Tensión (R.D.842/2002. Modifica el art. 22, la ITC BT03, se sustituye lo indicado y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo. Se declara la nulidad del inciso 4.2.c.2 de la ITC BT-03 anexa, por sentencia del TS de 17/02/04.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de Edificación BOE N°74 de 28/03/06. Corrección de errores y erratas en BOE N° 22 de 25/01/08.

#### **PC.1.4.2 NORMAS UNE**

Normas UNE (Normativa de la Asociación Española de Normalización) que pueden afectar a los materiales, equipos y unidades de obra incluidos en el Proyecto.

#### **PC.1.4.3 NORMAS ISO**

Normas ISO (Organización Internacional de Normalización) que pueden afectar a los materiales, equipos y unidades de obra incluidos en el Proyecto.

---

## **PC.2 CONDICIONES GENERALES**

---

### **PC.2.1 CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS**

---

#### **PC.2.1.1 DISPOSICIONES GENERALES**

---

Se establecen las siguientes disposiciones generales:

- Reglamento de contratación de las competencias locales.
- Ley, Reglamento y Pliego de contrataciones del Estado.
- Pliego de Cláusulas económico-administrativas particulares. - Ley de contrato de trabajo y disposiciones vigentes que regulan las relaciones patrón-obrero. - Ordenanza Laboral de Seguridad e Higiene en el trabajo, así como cualquier otra que, con carácter general, se dicte. En caso de contradicciones entre estas disposiciones y el presente Pliego prevalecerá este último.

#### **PC.2.1.2 TÉRMINOS DEL PLIEGO DE CONDICIONES**

---

El significado de los términos desarrollados en el Pliego es:

**Propiedad:** Se denomina Propiedad a la entidad, física o jurídica, pública o privada que, individual o colectivamente, impulsa, programa, financia y encarga, bien con recursos propios o ajenos, la redacción y ejecución de las obras del presente proyecto. Los derechos de propiedad industrial del Proyecto pertenecen a la Universidad de Salamanca, que podrá hacer uso de los mismos previo acuerdo y autorización del autor del trabajo.

**Dirección de Obra:** La dirección de obra está constituida por el Titulado Superior y Titulado Medio que designa la Propiedad en su momento. Representa a la Propiedad, defiende sus intereses y establece las relaciones contractuales con el Contratista adjudicatario de la obra del Proyecto. Se encarga de que la obra sea una reproducción fidedigna de lo proyectado y estipulado en el Pliego. Garantiza la inspección de materiales, el estado y perfecto funcionamiento de los equipos y el apoyo técnico al Contratista.

**Contratista:** Entidad fiscal que contrata con la Propiedad la ejecución total o parcial de la obra. Cuando en el Pliego se refiere al Contratista, se refiere al Contratista general de la obra y no a las subcontratas que este haya podido a su vez realizar. El Contratista no podrá hacer uso de la Documentación del Proyecto para cualquier otro fin diferente a su desarrollo.

### **PC.2.1.3 INTERPRETACIÓN TÉCNICA**

La interpretación del Proyecto y la consiguiente expedición de órdenes complementarias, gráficas o escritos para su desarrollo, corresponden exclusivamente a la Dirección Técnica. La Dirección Técnica podrá ordenar, antes de la ejecución de las obras, las modificaciones de detalle del Proyecto que crea oportunas, siempre que no altere las líneas generales del propio Proyecto, no excedan la garantía técnica y sean razonablemente aconsejadas por eventualidades surgidas durante la ejecución de los trabajos o por mejoras que crea conveniente introducir.

Corresponde también a la Dirección Técnica apreciar las circunstancias en las que, a instancias del Contratista, pueda proponerse la sustitución de materiales de difícil adquisición por otros de características similares, aunque de distinta calidad o naturaleza y fijar la alteración de precios que en tal caso sea razonable.

Las condiciones técnicas que figuran en el Pliego de Condiciones obligan igualmente en las obras que se realizan por contrata y las que pudieran decidir la Propiedad durante el régimen de administración. El Contratista no podrá alterar ninguna parte del Proyecto ni podrá hacer uso de los Planos y datos para distintos fines de los de esta obra.

### **PC.2.1.4 OBLIGACIONES Y DERECHOS DEL CONTRATISTA**

El Contratista recibirá de la Propiedad todos los datos sobre el diseño del proceso de la central. La Propiedad entregará al Contratista, libre de todo gasto, tres copias de todos los planos necesarios para la ejecución del trabajo. En caso de que el Contratista necesitara más copias, la Propiedad se las entregará cargándose su coste.

La Propiedad también se comprometerá a pagar puntualmente los servicios prestados por el Contratista. El Contratista se comprometerá a realizar toda la ingeniería de detalle, procuración y construcción de la central objeto de este proyecto, a partir de una propuesta previa enviada a la Propiedad.

Se sobreentiende que antes de la firma del Contrato, el Contratista ha examinado toda la documentación necesaria del presente Proyecto para establecer una evaluación económica de los trabajos. Antes del inicio de las obras el Contratista manifestará que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará por escrito las aclaraciones pertinentes.

El Contratista también se comprometerá a realizar sus servicios en el tiempo más breve posible, a hacer sus estimaciones de gasto lo más ajustadas posible, y a permitir el control sobre sus actividades y contabilidad a los representantes de la Propiedad. Todo ello procurando siempre el beneficio de la Propiedad.

Se considerará que el Contratista ha comprobado el lugar de construcción y, si hubiera lugar, los planos, especificaciones y listas antes de presentar su oferta, y que ha quedado conforme con las condiciones en que habrá que ejecutarse el trabajo, inclusive en lo referente al alcance, índole o naturaleza del mismo, posibles obstrucciones y cualquier otra condición que de una u otra forma pueda influir en el mismo.

El Contratista deberá conocer las disposiciones laborales, o de otra índole vigente, que pueden ser de aplicación en la realización del trabajo; la disponibilidad de mano de obra local, la disponibilidad de materiales, las condiciones locales de transporte y alojamiento del personal. No se admitirá ninguna reclamación del mismo por no haber hecho anteriormente dicha comprobación. El Contratista proporcionará un número suficiente de operarios competentes y el personal supervisor y administrativo necesario a fin de cumplir con el programa de construcción. Durante todo el periodo de ejecución del trabajo, el Contratista destacará en la obra un Jefe de Obra competente y tantos ayudantes como sean necesarios para controlar o supervisar a todo su personal y administrar adecuadamente el contrato. El Jefe de Obra tendrá la titulación profesional mínima exigida por la Dirección de Obra, de forma que por su titulación o experiencia deberá tener la capacidad adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra. El Jefe de Obra, que asumirá la representación técnica del Contratista y que con dedicación plena permanecerá en la obra a lo largo de toda la jornada legal de trabajo hasta la recepción de la obra, deberá cumplir las indicaciones de la Dirección de Obra, custodiando y firmando el Libro de Órdenes y seguimiento de la obra. El Jefe de Obra representará al Contratista y todas las instrucciones relativas a la realización del trabajo dadas a aquel por escrito obligarán al Contratista tanto como si se le hubieran dado a él directamente.

El Contratista no podrá cambiar su Jefe de Obra si no es bajo previa autorización por escrito de la Propiedad. El Jefe de Obra será plenamente responsable de la dirección y organización del trabajo, como también del manejo y control del personal del Contratista empleado para la ejecución de la obra, debiendo conocer detalladamente las condiciones y términos del Contrato. El Jefe de Obra cuidará que su personal circule por la central, si esto fuese necesario, según itinerarios marcados por la Propiedad, no pudiendo seguir otros caminos, ni entrar en unidades ajenas al trabajo, estén operativas o no. El Contratista debe cumplir todas las reglamentaciones y órdenes, aplicables a las prácticas de salarios y empleos y proceder de acuerdo con la política de la Propiedad en los asuntos que afecten a las prácticas locales y pudieran tender a sentar precedentes. El Contratista mantendrá en condiciones adecuadas las facilidades temporales relativas a los servicios higiénicos y de resguardo de sus empleados. El Contratista proporcionará, de forma continuada, en el sitio de la obra, durante la construcción, servicios apropiados de reconocimiento y primeros auxilios. También se tomarán las precauciones necesarias para una rápida asistencia médica en el lugar más cercano que proporcione dichos servicios.

El incumplimiento por parte de un empleado de la empresa Contratista de las reglas y prácticas requeridas por la Propiedad será justificación suficiente para su despido.

Toda persona que acceda a la obra debe estar sujeta a identificación y provista de los documentos aceptados por la Propiedad para este efecto. El Contratista mantendrá en el sitio de la obra un expediente individual de cada persona que regularmente trabaje en la construcción de la obra. Todo aquel que visite la central debe seguir las instrucciones relativas a seguridad e identificación, tal como si estuviera regularmente empleado en el sitio de la obra. Cualquiera de los oficiales de seguridad puede, en cualquier momento, solicitar la identificación apropiada. La Propiedad notificará al Contratista la reglamentación que afecte a visitas, accesos, entrada de automóviles en el recinto de la obra, pases especiales y zonas prohibidas de la central.

#### **PC.2.1.5 FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE LA OBRA**

La Dirección de Obra es la única capacitada para la interpretación del proyecto y la consiguiente expedición de órdenes complementarias, gráficos o escritos para el desarrollo del mismo.

La Dirección de Obra podrá ordenar, a cargo de la Propiedad, antes de la ejecución de las obras, las modificaciones de detalle del proyecto que crea oportunas siempre que no altere las líneas generales de éste, no exceda la

garantía técnica y sean aconsejables por eventualidades surgidas durante la ejecución de los trabajos o por mejoras que crea conveniente introducir.

Todas las alteraciones técnicas derivadas de estas posibles modificaciones serán aceptadas por el Contratista.

Cualquier modificación del Proyecto propuesta por el Contratista deberá ser previamente aprobada por la Dirección de Obra, que la evaluará antes de su aprobación o desaprobación.

Los materiales necesarios para la ejecución de las obras serán suministrados en su totalidad por el Contratista y deberán ser reconocidos antes de su utilización por la Dirección de la Obra, sin cuya aprobación no podrán utilizarse en la misma; a tales efectos el Contratista someterá al examen de la Dirección de Obra, al menos dos muestras de material que se trate, reservándose éste el derecho a desechar aquellos que no reúnan las condiciones que, a su juicio, deba reunir el material a utilizar. Los materiales rechazados serán retirados en el plazo más breve. Las muestras de los materiales que hayan sido aceptados serán conservadas justamente con los certificados de los análisis y ensayos a efectos de posteriores comparaciones y contrastes. Si en criterio de la Dirección de Obra, alguna unidad de obra estuviera defectuosamente ejecutada, el Contratista estará obligado a demolerla y a construirla nuevamente cuanta veces sean necesarias hasta que merezca la conformidad de la Dirección de Obra; estos aumentos de trabajo no le concederán derecho a percibir indemnización alguna, aun en el caso que las condiciones de la mala ejecución de las obras se hubieran detectado con posterioridad a la recepción provisional. Tampoco el supuesto de mala ejecución podrá repercutir en los plazos parciales o en el total de la ejecución de la obra.

#### **PC.2.1.6 LIBRO DE ÓRDENES**

---

Con objeto de que en todo momento se pueda tener un conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra, existirá en ella, en todo momento mientras dure su ejecución, el Libro de Órdenes, en el que se reflejarán las visitas realizadas por la Dirección de Obra, las incidencias surgidas y en general todos aquellos datos que sirvan para determinar con certeza si el Contratista ha cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del proyecto.

La Dirección de Obra dejará constancia en el Libro de Órdenes, mediante las oportunas referencias, las visitas e inspecciones que realice así como incidencias que surjan en el transcurso de los trabajos que supongan modificaciones en el proyecto, consignando igualmente todas las órdenes que necesite dar al Contratista respecto a la ejecución de las obras, las cuales serán de obligado cumplimiento. Las anotaciones en el Libro de Órdenes darán fe a efectos de determinar eventuales causas de resolución y demás incidencias del Contrato. Cuando el Contratista no estuviese conforme, podrá alegar en su defensa todas aquellas razones y circunstancias que avalen su postura, aportando las pruebas que estime pertinentes.

#### **PC.2.1.7 REPLANTEO**

---

La Dirección de Obra procederá al replanteo de las obras en presencia del Contratista, marcando convenientemente sobre el terreno todos los puntos de referencia necesarios para su ejecución.

De esta operación se extenderá un acta, por triplicado, o diligencia en el Libro de Órdenes, que deberá ser suscrita por la Dirección de Obra, y por la Contrata, dejando constancia de la buena realización del replanteo y su concordancia con el terreno, o por el contrario variarlo si es preciso y redactar un proyecto reformado.

En el primer caso, podrán iniciarse las obras, mientras que en el segundo se dará conocimiento a la Propiedad, que tomará la resolución que proceda y se la comunicará al Contratista, así como la prórroga del plazo y la posibilidad de rescisión del contrato.

El Contratista facilitará todos los medios precisos para la materialización de los replanteos, que serán a su cargo, asumiendo la responsabilidad del mantenimiento de las señales o datos que se fijan sobre el terreno para su determinación.

#### **PC.2.1.8 COMIENZO, RITMO, PLAZO Y CONDICIONES GENERALES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS**

---

El Contratista dará comienzo a las obras dentro de los siete días siguientes a la formalización del Contrato.



La fecha de comienzo fijada contará a efectos de plazos de ejecución y de revisión de precios en el supuesto de que tal revisión se hubiese pactado.

Junto a su oferta económica, el Contratista presentará un calendario de los trabajos a ejecutar en el que precisará el tiempo necesario para ejecutar la totalidad de la obra y cada una de sus correspondientes partes.

El plazo en el que el Contratista se compromete a ejecutar las obras objeto de este proyecto quedará fijado en el Contrato y su incumplimiento se entenderá como una rescisión unilateral e injustificada del mismo.

A efectos del cómputo de ejecución, la Dirección de Obra extenderá en el Libro de Órdenes diligencia haciendo constar el día en que se inician los trabajos, conforme a lo señalado en el artículo precedente.

Deberían descontarse en dichos plazos los días de parada debidos a fuerza mayor que impidan el normal desarrollo de los trabajos siempre que así lo estime conveniente la Dirección de Obra.

Siempre que cualquier parte de la obra se complete, quedando lista para operar, la Propiedad puede tomar la decisión de tal servicio para su utilización. Sin embargo, la posesión u operación de cualquier parte determinada de la obra no constituirá necesariamente una aceptación por parte de la Propiedad.

El Contratista estará obligado a completar las partes no terminadas de dichos servicios, haciéndose responsable de errores u omisiones descubiertas después de la utilización por parte de la Propiedad.

El Contratista deberá someter a la aprobación de la Dirección de Obra, antes del comienzo de las obras un programa con especificaciones de plazos parciales y fechas de terminación de las distintas unidades de obra, compatibles con el plazo total de ejecución. Este plan, una vez aprobado por la Propiedad, se incorporará al Pliego de Condiciones y adquirirá, por tanto, carácter contractual.

La aceptación del plan de obra no implica exención alguna de responsabilidades para el Contratista en caso de incumplimiento de los plazos parciales o totales convenidos.

#### **PC.2.1.9 CONDICIONES GENERALES DE SUMINISTRO DE EQUIPOS**

---

Los equipos se ajustarán a las condiciones especificadas desarrolladas para cada uno de ellos en sus correspondientes Hojas de Especificaciones, siendo los materiales a utilizar en la fabricación del equipo aprobados por la Dirección de Obra.

Una vez terminada dicha versión, los equipos tendrán obligatoriamente las características indicadas en las Hojas de Especificaciones.

A su vez el equipo de ingenieros responsable de la etapa de diseño mecánico y dibujo ha de realizar más Hojas de Especificaciones para las tuberías, sistema de refrigeración, accesorios, equipo eléctrico y mecánico, conducciones, cimentaciones y edificios, que también serán de obligado cumplimiento para el Contratista.

Los diseños de detalle referentes al equipo en el transcurso de la obra, serán desarrollados por el Contratista y deben ser aprobados por la Dirección de Obra previamente al suministro.

Los materiales utilizados en la fabricación de los equipos deben estar aprobados y definidos por la Dirección de Obra, especialmente aquellos que estén en contacto con el material a inspeccionar.

La adquisición de los equipos deberá ser documentada por el Contratista tras la instalación del equipo y su perfecto funcionamiento. La entrega quedará documentada mediante un informe de recepción firmado por el Contratista y por la Dirección de Obra.

Si durante la instalación o la recepción del equipo se define algún detalle sobre las capacidades del equipo que no está definida en el Proyecto, deberá ser estudiada por el

Contratista y la Dirección de Obra, debiendo introducirse en el Proyecto final las conclusiones de este estudio y los costes originados cubiertos por la Propiedad.

#### **PC.2.1.10 CONTRADICCIONES ENTRE PLIEGOS Y NORMAS**

El presente Pliego de Condiciones ha sido redactado de acuerdo con las disposiciones oficiales vigentes.

Las omisiones en Planos y Pliego de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que deban ser subsanados, para que pueda llevarse a cabo en espíritu o intención lo expuesto en Planos y Pliego de Condiciones o que, por su uso y costumbres, deben ser realizados, no exime al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles u obras omitidos erróneamente sino que por el contrario, deberán ser ejecutados como si se encontrasen correctamente especificados en los Planos y Pliego de Condiciones.

### **PC.2.1.11 SIGNIFICADO DE LOS ENSAYOS**

Los ensayos durante la ejecución de la obra son meros antecedentes de la recepción. Estos ensayos no liberan al Contratista de subsanar, reponer o reparar los equipos e instalaciones que no pasen el reconocimiento final.

El Contratista estará obligado a facilitar a la Dirección de Obra la labor de realización de ensayos e inspecciones.

Independientemente de la Dirección Técnica de las Obras, la Propiedad podrá inspeccionar en cualquier momento la buena marcha de las obras, así como la adecuación de las mismas a las estipulaciones del contrato y adoptar cuantas decisiones considere procedentes en garantía de su correcta ejecución.

### **PC.2.1.12 PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

Aquellos elementos de las instalaciones que, por su naturaleza y forma de sus condiciones, no tienen necesidad de poner en servicio al conjunto de la instalación serán objeto de prueba tan pronto como se hayan acabado.

Antes de verificar la recepción provisional, se someterán las obras a pruebas de resistencia, estabilidad e impermeabilidad.

De igual modo el Contratista procederá a la puesta a punto de la instalación, verificándose pruebas generales de su funcionamiento y efectividad de tratamiento.

Estas pruebas se efectuarán a pleno caudal de la instalación o de la parte correspondiente. Se comprobará el buen comportamiento en la totalidad de las instalaciones y mecanismos de la instalación.

### **PC.2.1.13 CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS**

La Dirección de Obra ordenará realizar pruebas y ensayos, análisis y extracción de muestras, que sean necesarias para comprobar que las unidades de obra y sus materiales están en las condiciones exigibles y cumplen con lo establecido en este Pliego. Las pruebas y ensayos se harán bajo su inspección, cuando lo estime oportuno.

El Contratista deberá, por su cuenta, suministrar a los laboratorios de control de calidad homologados una cantidad suficiente de material a ensayar, y abonar todos los gastos que estas pruebas genere.

Ninguna parte será enterrada de manera que sea inaccesible sin que previamente haya sido inspeccionada y aceptada por la Propiedad.

El Contratista corregirá, a su costa, cualquier obra que a juicio de la representación de la Propiedad no haya superado la inspección o pruebas.

La Propiedad podrá ordenar la discusión, y en este caso el Contratista estará obligado a dejar al descubierto dicha parte de la obra. Si se comprueba que tal trabajo se está ejecutando de acuerdo con los documentos del contrato, la Propiedad abonará el costo de las inspecciones y de la restitución de la obra al estado en que se encontraba.

En el caso que se compruebe que tal trabajo no está de acuerdo con los documentos del Contrato, el Contratista pagará tales gastos.

#### **PC.2.1.14 PARTIDA DE ALZADA**

Para la ejecución de las partidas alzadas deberá obtenerse la previa aprobación de la Dirección de Obra. A tal efecto, antes de proceder a la ejecución, se someterá a su consideración en detalle, desglosando el importe de las mismas y si resultase conforme podrán realizarse.

#### **PC.2.1.15 RECEPCIÓN PROVISIONAL DE OBRAS**

Terminado el periodo de la prueba de funcionamiento, con una duración de un mes, con resultado satisfactorio, se procederá a la Recepción Provisional de la forma que dispone la legislación vigente. Para ello deberán haberse cumplido las condiciones siguientes:

- Resultado satisfactorio de las pruebas realizadas.
- Cumplimiento de todas las obligaciones contenidas en el contrato o en acuerdos posteriores.

En el acto de recepción estarán presentes: la persona en quien delegue la Entidad Promotora de las obras, la Dirección de Obra y el Contratista, levantándose acta del mismo.

El Acta de Recepción Provisional contendrá necesariamente los siguientes documentos:

- Relación de problemas de funcionamiento pendientes de resolver si se diera el caso.
- Relación de los puntos que deben ser estudiados o vigilados especialmente durante el periodo de garantía.
- Protocolos de las pruebas de rendimiento y funcionamiento a realizar durante el periodo de garantía.

En el caso de que las obras no se encontrasen en estado de ser recibidas, se hará constar así en el acta, con medición de las circunstancias o defectos que lo impidan, dándose las instrucciones precisas y detalladas por la Dirección de Obra al Contratista a efectos de subsanar los defectos observados, fijándose plazo para efectuarlo a cuyo vencimiento se realizará una nueva inspección para la Recepción Provisional de las obras.

Si el Contratista no subsanase los defectos encontrados se producirá la rescisión de Contrato, con pérdida de las retenciones practicadas a no ser que la Propiedad juzgue oportuno conceder un nuevo e improrrogable plazo.

El plazo de garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la Recepción Provisional de la obra.

En la Recepción Provisional el Contratista deberá presentar las autorizaciones de los organismos oficiales para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requieran. No se realizará la Recepción Provisional y como es lógico la definitiva, si no se cumple este requisito.

#### **PC.2.1.16 PERÍODO DE GARANTÍAS**

El Contratista garantizará en general todas las obras que ejecute, así como los materiales empleados en ellas y su correcta manipulación.

El plazo de garantía será de doce meses, a no ser que se especifique otro periodo en el Proyecto de Detalle, durante el cual el Contratista corregirá los defectos observados, eliminará y volverá a ejecutar las obras rechazadas y reparará los desperfectos que se produzcan, todo ello a su cargo y sin derecho

a indemnización alguna. En caso de que el Contratista no cumpliera con esta obligación, las reparaciones serán ejecutadas por la Propiedad con cargo a las retenciones.

Junto con la recepción final de los equipos se entregará una lista de repuestos, precio y lugares de adquisición recomendados de los mismos.

El Contratista podrá negociar con la Propiedad un contrato de mantenimiento preventivo o de asistencia en caso de avería, que cubra el periodo de garantía y el tiempo posterior.

Para poder decidir sobre las cuentas pendientes de resolver o que surjan durante el periodo de garantía o en la ejecución de pruebas, incluyendo naturalmente las reparaciones, modificaciones o sustituciones que se presenten, el Contratista queda obligado a mantener un representante con capacidad y obligación de firmar las actas que se vayan levantando.

El Contratista asumirá toda reclamación de terceras personas que tuvieran su origen en el incumplimiento de sus obligaciones económicas o de las disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva, la Propiedad devolverá, en su caso, las cantidades retenidas al Contratista en las certificaciones.

#### **PC.2.1.17 RECEPCIÓN DEFINITIVA**

Dentro del mes siguiente al cumplimiento del plazo de garantía, se procederá a la Recepción Definitiva de las obras.

El Acta de Recepción Definitiva de las obras se efectuará después de terminado el periodo de garantía en la forma que dispone la legislación vigente.

En dicha Acta deberán quedar resueltas todas las cuestiones que en el Acta de Recepción Provisional quedaron pendientes del funcionamiento durante el periodo de garantía.

Si las obras se encontrasen en las condiciones debidas, se procederá a su Recepción Definitiva, de la que se levantará acta, en virtud de lo cual el Contratista queda relevado de toda responsabilidad.

### **PC.2.1.18 DOCUMENTO FINAL DE LA OBRA**

---

El Contratista entregará a la Dirección de Obra, antes de la Recepción Definitiva, tres ejemplares del documento elaborado como final de obra.

Dicho Documento deberá recoger todas las incidencias acaecidas en la obra desde su inicio hasta su finalización, así como aquellas modificaciones que durante el transcurso de la misma hayan tenido lugar. Del mismo modo, quedarán perfectamente reflejadas, mediante la documentación gráfica correspondiente, la ubicación final de todas las instalaciones para que, de este modo, se facilite cualquier trabajo de reparación o modificación que resulte necesario llevar a cabo con posterioridad.

### **PC.2.2 CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS**

---

Todas las unidades de obra se medirán y abonarán por su volumen, superficie, longitud y peso.

Si el Contratista construye mayor volumen del que corresponde en los dibujos que figuran en los planos o en sus reformas autorizadas, no se abonará este exceso, pero si este resultara perjudicial a juicio de la Dirección de Obra, se verá obligado a demolerlo de forma gratuita y a rehacerlo con las dimensiones debidas.

Serán de cuenta del Contratista las obras auxiliares que para la realización de los trabajos sean necesarias o que la Dirección de Obra estime imprescindibles, y no tendrá derecho a retribución especial, considerándose incluidos estos gastos en los precios de la obra.

Serán también de cuenta del Contratista los útiles y herramientas necesarios para la ejecución de las obras, y los medios auxiliares reunirán las condiciones de seguridad indispensables para el personal, siendo el Contratista directamente el responsable de los accidentes o desperfectos que se pudieran ocasionar.

Las mejoras de obra que voluntariamente efectúe el Contratista en atención a una calidad superior a la exigida en el Proyecto, o cualquier modificación que él mismo introdujera sin la conformidad de la Dirección de Obra por escrito, no serán abonadas.

En ningún caso el Contratista tendrá derecho a reclamación por motivos de insuficiencia de precio o falta de explicación.

### **PC.2.2.1 FIANZA**

---

Todas las unidades de obra se medirán y abonarán por su volumen, superficie, longitud y peso.

Si el Contratista construye mayor volumen del que corresponde en los dibujos que figuran en los planos o en sus reformas autorizadas, no se abonará este exceso, pero si este resultara perjudicial a juicio de la Dirección de Obra, se verá obligado a demolerlo de forma gratuita y a rehacerlo con las dimensiones debidas.

Serán de cuenta del Contratista las obras auxiliares que para la realización de los trabajos sean necesarias o que la Dirección de Obra estime imprescindibles, y no tendrá derecho a retribución especial, considerándose incluidos estos gastos en los precios de la obra.

Serán también de cuenta del Contratista los útiles y herramientas necesarios para la ejecución de las obras, y los medios auxiliares reunirán las condiciones de seguridad indispensables para el personal, siendo el Contratista directamente el responsable de los accidentes o desperfectos que se pudieran ocasionar.

Las mejoras de obra que voluntariamente efectúe el Contratista en atención a una calidad superior a la exigida en el Proyecto, o cualquier modificación que él mismo introdujera sin la conformidad de la Dirección de Obra por escrito, no serán abonadas.

En ningún caso el Contratista tendrá derecho a reclamación por motivos de insuficiencia de precio o falta de explicación.

### **PC.2.2.2 COMPOSICIÓN DE PRECIOS UNITARIOS**

---

Todos los precios unitarios se entienden valorados para cada partida totalmente terminada y, en el caso de equipos y maquinaria, comprenden la parte proporcional de los costes de puesta a punto, permisos, boletines, licencias, tasas, suministros para pruebas, etc.

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos los gastos generales y el beneficio bruto industrial. Esto es llamado precio de contrata, en el cual el IVA gira sobre esta suma, pero no está incluido en el precio.



Se consideran costes directos:

-La mano de obra, con sus pluses, cargas y seguro social, que intervienen directamente en la ejecución de la unidad de obra.

-Los materiales.

-Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

-Los gastos de personal, combustibles y energía que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

-Los gastos de amortización de la maquinaria, instalaciones y equipos anteriormente citados.

Se consideran costes indirectos:

-Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc., los gastos del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos, todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se consideran gastos generales:

-Los gastos generales de la empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos o indirectos.

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 % sobre las sumas de las anteriores partidas.

Se denomina Precio de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del beneficio industrial.

El precio de contrata es la suma de los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial. El IVA gira sobre esta suma pero no se integran en el precio.

Todas las partidas que intervienen en el presupuesto tendrán su precio unitario descompuesto descrito de forma completa, de manera que queden precisadas y determinadas cualitativa y cuantitativamente todas las características técnicas importantes de cada unidad a ejecutar (también sus prestaciones en el caso de equipos), y su precio final estará escrito en letras, expresado en euros con dos decimales.

### **PC.2.2.3 PRECIOS CONTRADICTORIOS**

Si ocurriese algún caso excepcional e imprevisto en el que fuese necesaria la determinación de precios contradictorios ente la Propiedad y el Contratista, estos precios deberán aprobarse por la Propiedad a la vista de la propuesta de la Dirección de Obra y de las observaciones del Contratista.

Si el Contratista no aceptase los precios aprobados quedará exonerado de ejecutar las nuevas unidades y la Propiedad podrá contratarla con otro Contratista en los precios fijados o bien ejecutarlas directamente.

Las unidades de obra con precios contradictorios, se introducirán al final de las partidas existentes en cada capítulo, (definiéndose expresamente con las siglas PC), se entienden aprobadas por la Administración, y se incorporan a todos los efectos a los cuadros de precios de proyectos base del Contrato.

### **PC.2.2.4 MEJORAS Y MODIFICACIONES**

Cualquier modificación en las unidades de obra que supongan la realización de distinto número de aquellas, en más o menos de las figuradas en el estado de mediciones y presupuestos, deberán ser conocida y aprobada previamente a su ejecución por la Dirección de Obra, haciéndose constar en el Libro de Órdenes tanto la autorización como la comprobación posterior de su ejecución.

En caso de no obtener esa autorización, el Contratista no tendrá derecho bajo ningún concepto al abono de las unidades de obra que hubiese ejecutado de más respecto a las figuradas en el proyecto.

### **PC.2.2.5 REVISIÓN DE PRECIOS**

Los Contratistas de los distintos gremios presentarán juntamente con su presupuesto de unidades de obra otra hoja firmada para poder, en un momento dado, discernir con la mayor aproximación, las posibles revisiones de precios que puedan presentarse durante la obra como consecuencia de un aumento oficial autorizado, o en el caso de una posible rescisión del Contrato.

Datos de la hoja firmada presentada:

-Porcentajes de mano de obra, de materia, de gastos generales y de beneficio industrial que suponen estos conceptos con relación al importe total del presupuesto de contrata de cada gremio.

-Los precios de las distintas unidades y su descomposición con el fin de aclarar más aun cualquier duda que pudiera surgir en el caso de una liquidación parcial de obra o de revisión de precios.

-Plazo de ejecución de la obra contratada.

Las propuestas de los distintos gremios se presentarán en sobre cerrado por duplicado a la Dirección de Obra.

Para realizar la revisión de precios se usarán los últimos índices oficiales de revisión de precios que hayan sido aprobados por la Comisión Delegada de Asuntos Económicos y que hayan sido publicados en el BOE.

Las fórmulas polinómicas con estructuras de costos en la actualidad autorizadas y por consiguiente utilizadas en las revisiones de Contrato, son las derivadas del Real Decreto 1359/2011, de 7 de Octubre (BOE Nº 258, de 26/10/11, páginas 111503 a 111516).

#### **PC.2.2.6 VALORACIÓN, MEDICIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS**

---

Las valoraciones de las unidades de obra que figuren en el presente Proyecto se efectuarán multiplicando el número de aquellas por el precio unitario asignado a las mismas en el Presupuesto.

En el precio unitario a que alude el párrafo anterior se considera incluidos los gastos de transporte de materiales, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto así como todo tipo de impuestos fiscales que graven los materiales, ya sea de origen estatal, autonómico o municipal, y también las cargas sociales.

Igualmente, será de cuenta del Contratista los honorarios, las tasas y demás gravámenes que se originen por inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones con que está dotado en local.

En el precio de cada unidad de obra están comprendidos los costes de todos los materiales, accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra terminada y en disposición de ser recibida.

### **PC.2.2.7 PENALIZACIONES**

Si finalizado el plazo de ejecución de la obra, estas no hubiesen terminado sin motivo justificado por parte del Contratista, se aplicarán los siguientes recargos a imputar al Contratista desde fecha de finalización de las obras:

-Por un día natural de retraso un 0,1 % de fianza, hasta el día 30.

-A partir del día 31 hasta el día 60 la penalización por día natural de retraso será de un 0,5 % del valor al que ascienda la fianza.

Pasados estos plazos se rescindiré el Contrato quedando obligado el Contratista a responder por daños y perjuicios. De igual manera se actuará en caso de incumplimiento del contrato por parte del Contratista.

### **PC.2.2.8 SEGUROS Y CONSERVACIÓN DE LA OBRA**

El Contratista y otros contratistas o subcontratados, empleados en el área de trabajo, procederán en todo momento en función de los mejores intereses de la Propiedad.

El Contratista será considerado como el contratista principal, y será responsable del trabajo y acciones de todas las otras firmas contratadas o subcontratadas empleadas por el mismo.

El Contratista notificará inmediatamente a la Propiedad de cualquier práctica peligrosa por otros contratistas no empleados por ella misma. En ausencia del representante autorizado de la Propiedad, el Contratista actuará por criterio propio para prevenir o evitar por parte de terceras personas cualquier acción que pudiera resultar en perjuicio de la Propiedad o poner en peligro el personal o la obra.

Durante la ejecución del trabajo, el Contratista será enteramente responsable de los daños que se pudieran ocasionar en personas o cosas, a terceros y/o a la Propiedad.

El Contratista mantendrá en vigor, y a su costa, durante el periodo de construcción y de pruebas, los siguientes seguros:

-De accidentes de trabajo y demás seguros sociales de su personal, según la legislación vigente.

-De daños que puedan sufrir las obras provisionales realizadas durante el periodo de construcción y de pruebas, incluyéndose la cobertura de riesgos catastróficos.

-De daños que puedan sufrir el propio equipo de maquinaria en uso durante el periodo de construcción y pruebas, incluyéndose la cobertura de riesgos catastróficos.

-Seguro obligatorio de vehículos a motor, propio o contratados que intervengan en los trabajos de construcción a todo riesgo, con garantía de responsabilidad civil limitada.

El Contratista se compromete a mostrar a la Propiedad, los seguros que cubren los límites antes citados.

El Contratista exigirá, en nombre de la Propiedad que se formalicen y mantengan en vigor a su costa durante el periodo de construcción y de prueba los mismos seguros antes mencionados.

El Contratista mantendrá libre a la Propiedad de todas las reclamaciones por siniestros indemnizables, sobre la base de riesgos cubiertos por los seguros indicados, aunque no hubieran sido mantenidos en vigor por el Contratista y/o subcontratados durante el periodo de construcción y de pruebas.

El Contratista acreditará el cumplimiento de lo establecido en este punto ante la Propiedad y la Dirección de Obra con antelación al comienzo de las obras.

#### **PC.2.2.9 CONDICIONES DE PAGO**

Los pagos se harán mensualmente por el 90 % del importe de la certificación aprobada respecto a unidades de obra completadas correspondiente al mes anterior. El 10 % restante lo retendrá la Propiedad en concepto de garantía de la correcta ejecución del trabajo y del cumplimiento de todas las obligaciones contractuales, fiscales y laborales que deriven de la ejecución del mismo.

Las cantidades retenidas serán reintegradas por la Propiedad al Contratista una vez cumplido el plazo de garantía, siempre que no se haya observado ningún defecto en la ejecución de los trabajos realizados, mala calidad de los materiales utilizados y se haya firmado el acta de Recepción Definitiva.

Las certificaciones se presentarán mensualmente a la representación de la Propiedad por triplicado y en forma aceptable por la misma. En cada certificación constará por separado el importe de los trabajos realizados.

Las certificaciones reflejan el total acumulado del trabajo realizado hasta finales del mes anterior y se presentarán a la representación de la Propiedad en los primeros diez días de cada mes para la comprobación de las mismas.

Al finalizar el trabajo el Contratista presentará una última certificación con carácter definitivo en la que haga constar que renuncia a toda reclamación por omisión de cantidades de trabajo no certificadas con anterioridad y que todos los precios aplicados a las unidades de trabajo realizadas son conformes.

## **PC.2.3           CONDICIONES GENERALES LEGALES**

---

### **PC.2.3.1 DISPOSICIONES LEGALES**

---

-Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Plan Nacional de Higiene y Seguridad del Trabajo (O.M. 09-III-71). Derogado: lo indicado de los arts. 138 y 139, por Real Decreto 349/2003, de 21 de Marzo; el capítulo VI del Título II, por Real Decreto 614/2001, de 8 de Junio; los capítulos VIII a XII, por Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio; el capítulo XIII del título II, por Real Decreto 773/1997, de 30 de Mayo de los arts. 138 y 139, por Real Decreto 665/1997, de 12 de Mayo de los arts. 138 y 139, por Real Decreto 664/1997, de 12 de Mayo, con la excepción indicada, con los capítulos I a V y VII del Título II, por Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, los Títulos I y III por la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, el art. 31.9, por Real Decreto 1316/1989, de 27 de Octubre.

-Comité de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de prevención de riesgos laborales).

-Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (O.M. 20- V-52).

-Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (O.M. 21-XI-59): orden de 28 de Marzo de 1962 por la que se da nueva redacción al artículo 53 del vigente Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa.

-Ordenación de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámicas (O.M. 28-VIII-70). Se sustituye en su ámbito las materias indicadas, por Resolución de 29 de Noviembre de 2001. Prorrogado: en el ámbito del sector Cemento, por Acuerdo publicado por Resolución de 3 de Julio de 1997. Sustituido en el ámbito del sector de Derivados del Cemento, por Convenio publicado por Resolución de 22 de Julio de 1996. Derogado parcialmente, por Orden de 28 de Diciembre de 1994. Modificando determinados artículos, por Orden de 27 de Julio de 1973.

Ampliando la sección séptima del Anexo II de la Ordenanza, por Orden de 28 de Julio de 1972. Modificando en el Anexo II, por Orden de 22 de Marzo de 1972. Se interpreta el art. 123, por Resolución de 23 de Marzo de 1971 los arts. 108, 118 y 123, por Resolución de 24 de Noviembre de 1970. Por Orden de 21 de Noviembre de 1970. Corrección de errores en BOE N° 249 17/10/70.

-Reglamento Electrotécnico de Líneas de Baja Tensión (R.D. 842/2002). Se modifica con efectos de 30 de junio de 2015, las ITC BT-02, BT-04, BT-05, BT-10, BT-16 y BT-25, y añade la BT-52, por Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre (Ref. BOE-A-2014-13681). Se modifica el art. 22, la ITC BT03, se sustituye lo indicado y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo (Ref. BOE-A-2010-8190). Se declara la nulidad del inciso 4.2.c.2 de la ITC BT-03 anexa, por Sentencia del TS de 17 de febrero de 2004.

-Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión (R.D. 223/2008). Modificado arts. 13.1, 16, 19, la ITC-LAT 03, se sustituye lo indicado, y se añaden las disposiciones adicionales 1 a 4, por Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo. Corrección de errores en BOE N° 174 de 19/07/08. Corrección de erratas en BOE N° 120 de 17/05/08.

-Convenio Colectivo Provisional del Sector de la Construcción y Estatutos de los Trabajadores.

-Obligatoriedad de la Inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Proyectos de Edificación y Obras Públicas (R.D. 555/1986, 21-II-86). Derogado por Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. Se deroga el art. 18 y se modifica el 19.1, por Real Decreto 337/2010, de 19 de Marzo. Se modifica los arts. 13.4 y 18.2, por Real Decreto 1109/2007, de 24 de Agosto. Se añade una disposición adicional única, por Real Decreto 604/2006, de 19 de Mayo. Se modifica el anexo IV, por Real Decreto 2177/2004, de 12 de Noviembre.

También es de obligado cumplimiento cuanto la dirección de obra dicte encaminado a garantizar la seguridad de los obreros y de la obra en general.

#### Legislación nacional

#### Legislación básica.

- Ley 21/1992 de 16 de Julio, de Industria BOE N° 176 publicado el 23/7/92. Se modifica los arts. 4.5, 8.11, 13.1.b), 15, 16, 18, 31 y 34.1, por Ley 32/2014, de 22 de diciembre. Se declara con la salvedad expresada la inaplicabilidad de lo indicado del art. 15 en la redacción dada por la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, por Sentencia del TS de 29 de junio de 2011.

Se modifica los arts. 4, 12 a 15, 17, 21 a 24, 27, 31.2 y la denominación del título IV, por Ley 25/2009, de 22 de diciembre. Se declara en la cuestión 6488/2001, (BOE-A- 2002-19915), la nulidad del art. 31.3 a) por Sentencia 162/2008, de 15 de diciembre. Se actualiza, sobre conversión a euros de las cuantías indicadas: Resolución de 1 de noviembre de 2001.

- Ley 25/2009, de 22 de Diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio BOE N° 308 publicado el 23/12/09. Se deroga el art. 11, por Ley 32/2014, de 22 de Diciembre.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial BOE N° 32 publicado el 06/02/96. Se deroga los arts. 51, 52, 53 y se modifica el art. 49, por Real Decreto 239/2013, de 5 de abril. Se declara la nulidad del art. 42.1 y 2.a) y la inaplicabilidad a las personas físicas de lo indicado en los apartados 2.b) y c), 4.b) y c) del art. 42 en la redacción dada por el art. único del Real Decreto 338/2010, por Sentencia del TS de 27 de febrero de 2012. Se deroga los arts. 14 a 19 y la disposición adicional 3, por Real Decreto 1715/2010, de 17 de diciembre. Se modifica determinados preceptos, por Real Decreto 338/2010, de 19 de marzo. Se declara en el conflicto 2231/1996, (BOE-A-1996-14275), que el art. 51.1 y disposición adicional 3 no invaden las competencias de la C.A. de Cataluña según los f.j. 8 y 9, por Sentencia 33/2005, de 17 de febrero. Se modifica el art. 14 y la disposición transitoria 4 y se Prorrogan los Plazos establecidos en las disposiciones adicionales 1 y 3 y Transitorias 1, 2 y 3, por Real Decreto 411/1997, de 21 de marzo. Corrección de errores en BOE N° 57 de 06/03/96.
- Real Decreto 338/2010, de 19 de Marzo, por el que se modifica el Reglamento de la Infraestructura para la calidad y seguridad industrial, aprobado por el Real Decreto 2200/1995, de 28 de Diciembre BOE N°84 publicado el 07/04/10. Declara la nulidad del art. 42.1 y 2.a) y la inaplicabilidad a las personas físicas de lo indicado en los apartados 2.b) y c), 4.b) y c) del art. 42 del Real Decreto 2200/1995 de 28 de Diciembre (BOE-A- 1996-02468) en la redacción dada, por sentencia de 27 de febrero de 2012.
- Real Decreto 251/1997, de 21 de Febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Consejo de Coordinación de la Seguridad Industrial BOE N° 66 publicado el 18/03/97.
- Ley 17/2009, de 23 de Noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio. BOE N° 125 publicado el 24/11/09.
- Real Decreto 560/2010, de 7 de Mayo, por el que se modifican diversas normas reglamentarias en materia de seguridad industrial para adecuarlas a la Ley 17/2009, de 23 de Noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de



Diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio. BOE N° 125 publicado el 22/05/10. Corrección de errores: BOE N° 149 de 19/06/10 y BOE N° 207 de 26/08/10.

### Legislación sobre productos.

En este apartado se listan productos sujetos a reglamentación nacional de la legislación comunitaria.

-Reglamento de Equipos a Presión (R.D. 2060/2008, de 12 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas complementarias).

-Productos industriales a los que se aplica reglamentación específica de “homologación”.

-Reglamentación General:

- Real Decreto 2584/1981, de 18 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento general de las Actuaciones del Ministerio de Industria y Energía en el campo de la normalización y homologación BOE N° 263 publicado el 03/11/81. Corrección de errores: BOE N° 285 de 28/11/81.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial. BOE N°32 de 06/02/96.
- Real Decreto 1849/2000, de 10 de Noviembre, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales de construcción BOE N° 289 publicado el 02/12/00.
- Real Decreto 683/2003, de 12 de Junio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales BOE N° 153 publicado el 27/06/03.
- Real Decreto 846/2006, de 7 de Julio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales BOE N° 186 publicado el 05/08/06.
- Real Decreto 442/2007, de 3 de Abril, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales BOE N° 104 publicado el 01/05/07.
- Real Decreto 1220/2009, de 17 de Julio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales BOE N° 187 publicado el 04/08/09.

-Productos de construcción:

- Alambres trefilados lisos y corrugados:

- Real Decreto 2702/1985 de 18 de Diciembre, por el que se homologan los alambres trefilados lisos y corrugados empleados en la fabricación de mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado (viguetas en celosía) por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 51 publicado 28/02/86.
- Orden de 8 de Marzo de 1994, por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de alambres trefilados lisos y corrugados empleados en la fabricación de mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado BOE N° 69 publicado el 22/03/94.
- Armaduras activas de acero para hormigón pretensado:
  - Real Decreto 2365/1985 de 20 de Noviembre, por el que se homologan las armaduras activas de acero para hormigón pretensado, por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 305 publicado el 21/12/85.
  - Orden de 8 de Marzo de 1994, por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de las armaduras activas de acero para hormigón pretensado BOE N° 69 publicado el 22/03/94.
- Detectores de Monóxido de Carbono:
  - Real Decreto 2367/1985, de 20 de Noviembre, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los equipos detectores de la concentración de monóxido de carbono BOE N° 307 de 24/12/85.
- Grifería sanitaria:
  - Real Decreto 358/1985, de 23 de Enero, por el que se establece la sujeción a normas técnicas de las griferías sanitarias para su utilización en locales de higiene corporal, cocinas y lavaderos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 70 de 22/03/85.
  - Orden de 15 de Abril de 1985, sobre normas técnicas de las griferías sanitarias para utilizar en locales de higiene corporal, cocinas y lavaderos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 95 publicado el 20/04/85. Corrección de errores: BOE N° 101 de 27/04/85.
  - Orden de 12 de Junio de 1989, por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de la grifería sanitaria para utilizar en locales de higiene corporal, cocinas y lavaderos BOE N° 161 publicado el 07/07/89.
- Hormigón preparado:
  - Orden de 21 de Diciembre de 2001, por la que se establecen los criterios para la realización de control de la producción de los hormigones fabricados en central BOE N° 302 publicado el 18/12/01.
- Productos de lana de vidrio utilizados como aislante térmico:
  - Real Decreto 683/2003, de 12 de Junio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales de construcción BOE N° 153 publicado el 27/06/03.

- Tubos de acero soldado:
  - Real Decreto 2704/1985 de 27 de Diciembre, por el que se declaran de obligada observancia las especificaciones técnicas que figuran como anexo de este Real Decreto para los tubos de acero soldado, con diámetros nominales comprendidos entre 8 mm y 220 mm y sus perfiles derivados correspondientes, destinados a conducción de fluidos, aplicaciones mecánicas, estructurales y otros usos, tanto en negro como galvanizado y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N°57 publicado el 07/03/86.
  - Orden de 8 de Marzo de 1994, por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de tubos de acero soldado BOE N° 69 publicado el 22/03/94.
  - Otros productos.
- Cables conductores desnudos de aluminio-acero:
  - Real Decreto 1939/1986 de 6 de Junio, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los cables conductores desnudos de aluminio-acero, aluminio homogéneo y aluminio comprimido y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N°226 publicado el 20/09/86.
- Productos galvanizados en caliente:
  - Real Decreto 2531/1985 de 18 de Diciembre, por el que se declaran de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos, piezas y artículos diversos contruidos o fabricados con acero u otros materiales férreos y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 3 publicado el 03/01/86.
  - Orden de 13 de Enero de 1999 por la que se modifican parcialmente los requisitos que figuran en el anexo del Real Decreto 2531/1985, de 18 de Diciembre, referentes a las especificaciones técnicas de los recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos, piezas y artículos diversos, contruidos o fabricados en acero u otros materiales férreos, y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 24 publicado el 28/01/99.
- Tubos de acero inoxidable soldado:
  - Real Decreto 2605/1985 de 20 de Noviembre, por el que se declara de obligado cumplimiento las especificaciones técnicas de los tubos de acero inoxidable soldados longitudinalmente y su homologación por el Ministerio de Industria y Energía BOE N° 12 publicado el 14/01/86. Corrección de errores: BOE N° 38 de 13/02/86.
  - Legislación complementaria.
  - Instalaciones térmicas en los edificios:
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE N° 207

publicado el 29/08/07. Se modifican determinadas preceptos, por Real Decreto 238/2013, de 5 de Abril. Se modifica el capítulo VIII, arts. 17, 19, 20 a 26, 28, 34 a 42, por el Real Decreto 249/2010, de 5 de Marzo. Corrección de errores en BOE N° 51, de 28/02/08.

-Prevención de accidentes mayores:

- Real Decreto 1070/2012, de 13 de Julio, por el que se aprueba el Plan estatal de protección civil ante el riesgo químico. BOE N° 190, de 09/08/2012.
- Real Decreto 1254/1999, de 16 de Julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE N° 172, de 20/07/99.
- Real Decreto 1196/2003, de 19 de Septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOE N° 242, de 09/10/03.
- Real Decreto 393/2007, de 23 de Marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. BOE N° 72 de 24/03/07. Modificada por el R.D. 1468/2008, el 5 de Septiembre.

-Prevención de riesgos laborales:

- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. BOE N° 269 , de 10/11/95.
- Real Decreto 487/1997 de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas de Seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos en particular dorsolumbares para los trabajadores. BOE N° 97 de 23/04/97.
- Real Decreto 486/1997 de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE N° 97 de 23/04/97.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE N° 97 de 23/04/97.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de Mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. BOE N° 140 de 12/06/97. Corrección erratas BOE N° 171, publicado 18/07/97.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo. Se modifica los anexos I y II y la disposición derogatoria única, por Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre

-Seguridad general de productos:

- Directiva 2001/95/CE (Seguridad General de Productos).
- Real Decreto 1801/2003, de 26 de Diciembre, sobre seguridad general de los productos.  
-Servicio público de gases combustibles:
- Real Decreto 3484/1983, de 14 de Diciembre, por el que se modifica el apartado 5.4, incluido el artículo 27 del Reglamento General del Servicio Público de Gases Combustibles aprobada por Decreto 2913/1973, de 26 de Octubre derogado en aquello que se oponga al Reglamento e ITCs aprobadas por R.D. 919/2006. Corrección de errores en BOE N° 65, de 16/03/84.
- Orden de 17 de Diciembre de 1985, por la que se aprueba la instrucción sobre documentación y puesta en servicio de las instalaciones receptoras de gases combustibles y la instrucción sobre Instaladores Autorizados de gas y Empresas Instaladoras Derogado por R.D. 919/2006.  
-Sector eléctrico
- Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del sector eléctrico.
- Real Decreto 1995/2000, de 1 de Diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

### **PC.2.3.2 CONTRATISTA**

---

El Contratista deberá acreditar su capacidad técnica para la realización de la obra ante la Propiedad mediante la información que se detalla a continuación:

-Lista de obras realizadas:

- Lista de obras construidas durante los últimos cinco años, en las que la empresa haya sido Contratista único o miembro de un consorcio con intervención significativa en el mismo, indicando ubicación, costo y tipo de contrato, plazo contractual, tiempo de ejecución real, etc.
- Información documentada sobre la ejecución en los últimos cinco años, de obras similares en características y magnitud, si las hubiera, en las cuales haya sido Contratista único o miembro de un consorcio donde haya ejercido participación principal. En cada caso se mencionará el plazo contractual y si se ha cumplido con el mismo, debidamente certificado.
- -Lista de equipamiento y maquinarias de estas obras con indicación de sus características, estado de conservación, tiempo de uso y vida útil.
- -Personal a emplear: nómina, currículum y calificación del personal directo y de conducción de la empresa.
- Esta documentación debe ser de la conformidad de la Propiedad y constituirá una razón para la denegación de la obra.

### **PC.2.3.3 CONTRATO**

---

En el Contrato suscrito entre la Propiedad y el Contratista deberá explicarse el sistema de ejecución de las obras, que se encontrará por unidad de obra. Este tipo Contrato se firmará con arreglo a los documentos del Proyecto y a las condiciones particulares, que en cada caso se estipulen.

El Contrato se firmará dentro de los 10 días de notificación de la adjudicación. A partir de la firma del Contrato, la Propiedad podrá extender la Orden de Inicio de Obra correspondiente. En el caso de que el Contratista no disponga del equipamiento propio necesario para realizar los servicios objeto del Contrato, deberá presentar indefectiblemente, previo a la firma del Contrato, documentaciones que acrediten el Contrato de alquiler del mismo.

Firmado el Contrato, el Contratista no podrá transferirlo ni cederlo, en todo o en parte, a otra persona o entidad, ni asociarse para su cumplimiento sin autorización previa y por escrito de la Propiedad.

La Propiedad puede realizar otros contratos por separado en relación con el trabajo del Contratista. El Contratista cooperará con estos otros respecto al almacenamiento de materiales y realización de su trabajo. Será responsabilidad del Contratista inspeccionar los trabajos de otros contratistas que puedan afectar al suyo y comunicar a la Dirección de Obra cualquier irregularidad que no le permitiera finalizar su trabajo de forma satisfactoria.

La omisión de notificar a la Dirección de Obra estas anomalías indicará que el trabajo de otros contratistas se ha realizado satisfactoriamente.

### **PC.2.3.4 ADJUDICACIÓN**

---

La forma de adjudicación de la obra se efectuará mediante subasta cerrada. Las ofertas serán evaluadas sobre la base de condiciones legales técnicas, económicas y financieras establecidas en las mismas. Será obligatoria la adjudicación al mejor postor, siempre que esté conforme con lo especificado en los documentos del Proyecto.

A los efectos de formula el ordenamiento prioritario de las ofertas con vistas a la adjudicación, se considerarán los siguientes aspectos:

- Documentación técnica.
- Condiciones económica-financieras.

-Precio final.

-Tiempo de ejecución de la obra.

La propiedad adjudicará el Contrato a la oferta más baja, siempre que cumplan con las condiciones del Pliego.

Se considera la oferta más baja a aquella que ofrezca el menor precio total. Se establece un rango razonable de precio de oferta, que estará comprendido entre el 10 % y el 25 % del precio estimado para la ejecución de la obra.

Las ofertas que se encuentran por debajo del límite inferior de este rango serán consideradas de riesgo de ejecución.

La Propiedad se reserva el derecho de rechazar algunas o todas las ofertas, incluida la de menor precio ofertado si las mismas, a su exclusivo juicio, no se ajustaran a las condiciones del presente Pliego.

En caso de que entre las ofertas adjudicables, apareciesen algunas iguales en precio y condiciones, se procederá a una nueva licitación limitada al precio, por propuesta cerrada, entre dichos ofertantes exclusivamente, señalándose al efecto día y hora dentro de un plazo que no exceda de una semana.

La adjudicación será notificada al ofertante adjudicatario, dejando establecidas las condiciones bajo las que haya sido adoptada. La adjudicación de la licitación será también notificada a todos los ofertantes no adjudicatarios.

### **PC.2.3.5 ARBITRAJE Y JURISDICCIÓN COMPETENTE**

Cualquier cuestión que surja entre las partes sobre la interpretación o cumplimiento del presente Contrato y no se llegue a un acuerdo entre la Propiedad y el Contratista, será sometida a un arbitraje de equidad, integrado por tres árbitros, uno representando a la propiedad, otro al contratista y el último ajeno a ambas partes.

En los Contratos con firmas nacionales, se acatará el arbitraje de la Cámara de Comercio e Industria Española, basándose en la Ley 60/2003, de 23 de Diciembre, de Arbitraje (BOE Nº 309 de 26/12/03, vigente desde 10/06/11, sec. 1, pág. 46097 a 46109).

Con las firmas extranjeras se usará la normativa internacional de la Corte de Arbitraje de la Cámara de Comercio e Industria de Madrid, en vigor desde el 1 de Enero de 2009.

El adjudicatario, queda sujeto a la legislación común, civil, mercantil y procesal española. Sin perjuicio de ello, en las materias relativas a la ejecución de obra se tomarán en consideración (en cuanto su aplicación sea posible y en todo aquello en que no queden reguladas por la expresa legislación civil, ni mercantil, ni en el contrato) las normas que rigen para la ejecución de las obras del Estado.

### **PC.2.3.6 RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTA**

El Contratista será el único responsable del cumplimiento de toda la legislación vigente sobre las obras, de las Ordenanzas Municipales y de cualquier otra índole legal que le afecte en materia de trabajo.

En la ejecución de las obras que se hayan contratado, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudieran resultarle, ni por las erradas maniobras que cometiese durante la construcción, siendo de su cuenta y riesgo e independientemente de la inspección de la Dirección de Obra. Como consecuencia de ello, estará obligado a la demolición y la reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la Dirección de Obra haya examinado y reconocido la realización de las obras durante la ejecución de las mismas, ni el que hayan sido abonadas liquidaciones parciales.

El Contratista se compromete a facilitar y hacer utilizar a sus empleados todos los medios de protección personal o colectiva, que la naturaleza de los trabajos exija. También será el responsable del pago de los salarios y de los materiales necesarios para el desarrollo de la obra, así como de la buena calidad de los trabajos realizados.

De igual manera, aceptará la inspección de la Dirección de Obra en cuanto a Seguridad y Salud se refiere y se obliga a corregir, con carácter inmediato, los defectos que se encuentren, pudiendo la Dirección de Obra en caso necesario paralizar los trabajos hasta que se hayan subsanado los defectos, corriendo por cuenta del Contratista las pérdidas que se originen.

Asimismo será el único responsable ante los Tribunales de la situación tanto legal como laboral del personal, así como de los accidentes que se produjeran durante la realización de la obra que sobrevinieran por inexperiencia o descuido.

Si el Contratista causase algún desperfecto en las propiedades colindantes tendrá que restaurarlas por su cuenta, dejándolas en el estado inicial, al comienzo de la obra. Por lo tanto, será de cuenta del Contratista la recuperación de cualquier daño, (o indemnización por él), que puedan ocasionar sus



instalaciones y construcciones auxiliares y demás operaciones realizadas por el Contratista para la realización de la obra en propiedades particulares.

Las multas y fianza, que también serán por cuenta del Contratista, se estipularán tras la firma del Programa de Trabajo, y se aplicarán con rigurosidad según la cantidad que se estipule.

El Contratista proporcionará a la Dirección de Obra o a sus auxiliares toda clase de facilidades para el replanteo, reconocimiento, mediciones, pruebas de materiales e inspecciones visuales de la ejecución de todas las unidades de obra, con objeto de comprobar el cumplimiento de las condiciones exigibles en el presente Pliego.

El Contratista será el único responsable por el pago de todos los impuestos, derechos, tasas, contribuciones y cargas sociales previstos por las leyes del país donde se ejecute la obra, por lo que tiene la obligación de ser conocedor de las mismas. Se considera que todos los precios consignados en la oferta cubren los pagos de los mismos sin excepción alguna.

La Propiedad podrá exigir que el Contratista presente los comprobantes de pagos de impuestos, derechos, tasas, contribuciones y cargas sociales, constituyendo el incumplimiento de esta cláusula causa de rescisión del contrato.

#### **PC.2.3.7 SUBCONTRATAS**

---

El Contratista no subcontratará ni se asociará a terceros para la ejecución del trabajo sin aprobación previa por escrito de la Propiedad. Cuando sea solicitado por la Dirección de Obra, el Contratista someterá por escrito para su aprobación los nombres de los subcontratistas propuestos para los trabajos.

La Dirección de Obra podrá rechazar a aquellos subcontratistas de los que existen antecedentes de mala ejecución, incumplimiento de las especificaciones del Proyecto, retraso en la ejecución de los trabajos o por cualquier otra causa debidamente justificada.

Los subcontratados, asociados, agentes, etc., contratados por el Contratista para el trabajo serán considerados a todos los efectos como empleados del Contratista.

El Contratista será responsable ante la Propiedad de los actos y omisiones de los subcontratistas y de las acciones de sus empleados, en la misma medida que de los suyos propios, de modo que el Contratista deberá asegurarse de que todos sus subcontratados, asociados, agentes, etc., empleados en el trabajo, cumplen con los términos del Contrato como si fueran sus empleados, siendo el único responsable de cualquier fallo o negligencia causada por aquellos.

#### **PC.2.3.8 IMPUESTOS**

El Contratista será el único responsable por el pago de todos los impuestos, derechos, tasas, contribuciones y cargas sociales previstos por las leyes del país donde se ejecute la obra, siendo por parte de la Propiedad el abono de las licencias y autorizaciones administrativas para el comienzo de la obra. Se considera que todos los precios consignados en la oferta cubren los pagos de los mismos sin excepción alguna. La Propiedad podrá exigir que el Contratista presente los comprobantes de pago de impuestos, derechos, tasas, contribuciones y cargas sociales, constituyendo el incumplimiento de esta cláusula suficiente para la rescisión del Contrato.

#### **PC.2.3.9 ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS**

En caso de accidentes de trabajo ocurrido a los operarios, con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto en estos efectos en la legislación vigente, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista cumplirá estrictamente y hará cumplir a su personal el Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo (BOE Nº 97, de 23/04/97, páginas 12918 a 12926).

El Contratista designará un miembro de su organización en la obra, cuya obligación será la de velar por la prevención de accidentes y el cumplimiento de las normas que regulen la materia. El nombre y cargo de la persona que designe será comunicado por el Contratista a la Propiedad antes de comenzar el trabajo.

Por lo tanto, el Contratista deberá equipar a su personal de los elementos de protección adecuados al trabajo que realicen, obligatorios según la Reglamentación en vigor de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Estos medios de protección personal para los trabajadores serán homologados por el Servicio Social de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Todas las herramientas y equipos del Contratista serán adecuadas para el trabajo y no afectarán a la seguridad ni a los elementos de protección personal. Si las herramientas fueran inadecuadas o peligrosas, a juicio de la representación de la Propiedad, deberán ser sustituidas por otras a cargo del Contratista.

El Contratista adoptará cuantas medidas sean necesarias para evitar la caída de operarios, desprendimiento de herramientas y materiales que puedan poner en peligro la integridad física de alguna persona, siendo el responsable de los daños ocasionados si llegaran a ocurrir.

En casos de incumplimiento de las normas de seguridad o de las dictadas por las autoridades competentes, ya sean generales o particulares de la Propiedad, la Propiedad se reserva el derecho a ejercer cualquiera de las siguientes acciones:

- Expulsión del complejo, de la persona o personas, que las hayan incumplido.
- Suspensión de la ejecución de los trabajos mientras no se asegure el total cumplimiento. Esta suspensión no será justificada para ampliar el plazo de ejecución establecido.
- Imposición de multas al Contratista, hasta un importe equivalente al beneficio del contrato correspondiente a las obras que estuviera ejecutado, para lo cual este porcentaje deberá constar explícitamente en su oferta.
- Rescisión del Contrato, ejecutando las acciones correspondientes por indemnización de daños y perjuicios.

En caso de accidentes o peligro inminente, en el que exista riesgo para las vidas de las personas, para la obra en curso, para otras obras ya ejecutadas o para las propiedades colindantes, se autorizará al Contratista a actuar en consecuencia para prevenir las pérdidas o daños que pudieran producirse, debiendo ejecutar tales órdenes inmediatamente. Las compensaciones que el Contratista reclame como consecuencia de estos trabajos de emergencia se fijarán de común acuerdo o mediante arbitraje.

El Contratista será el único y exclusivo responsable, durante la ejecución del trabajo, de todos los accidentes por inexperiencia o descuidos que pudieran sufrir sus operarios o causados por él a otras personas, entidades o cosas, tanto en las edificaciones e instalaciones, como en las parcelas contiguas donde se ejecuten las obras, sumiendo todas las responsabilidades ajenas a la legislación vigente sobre accidentes de trabajo, daños a las cosas, propiedades de terceros, etc. Si se presupone un diagnóstico superior al leve en accidente de trabajo, el Contratista, o su representante, deberá personarse en las oficinas de personal de Propiedad para comunicar tal circunstancia y facilitar los datos personales del accidentado, tipo de accidente ocurrido, lugar, causa y cuantos datos aclaratorios sean necesarios.

El contratista informará a la Propiedad con la máxima urgencia de cualquier dificultad de tipo laboral que surja entre él y sus trabajadores, a fin de que, por parte de la Propiedad puedan adoptarse las medidas oportunas con relación al caso que se trate.

#### **PC.2.3.10 SUSPENSIÓN DE CONTRATO**

El trabajo o cualquier parte del mismo podrán ser suspendidos por la Propiedad en cualquier momento previa notificación por escrito con cinco días de antelación a la fecha prevista de reanudación del trabajo.

El Contratista reanudará el trabajo según notificación por escrito del Propietario, a través de la Dirección de Obra, y dentro de los 10 días siguientes a la fecha de la notificación escrita de reanudación de los trabajos.

Si el Propietario notificase la suspensión definitiva de una parte del trabajo, el Contratista podrá abandonar la porción del trabajo suspendida y tendrá derecho a la indemnización correspondiente.

#### **PC.2.3.11 RESCISIÓN DEL CONTRATO**

Cuando a juicio de la Propiedad, se incumpla por parte del Contratista alguna de las cláusulas contractuales establecidas en cualquier medida, extensión o modalidad, siempre que a juicio de la Dirección de Obra sea por descuido inexcusable o mala fe manifiesta, pudiera ocasionar graves trastornos en la realización de las obras, en el cumplimiento de los plazos, o en su aspecto

económico, la Propiedad podría decidir la resolución de las obras, con las generalidades a las que hubiera lugar.

La Propiedad podrá rescindir el Contrato de ejecución en los casos escogidos en el capítulo correspondiente a las Condiciones de Índole Económica, y en cualquiera de los siguientes casos:

- Se declare en bancarrota o insolvencia el Contratista.
- El Contratista desestime o viole cláusulas importantes de los documentos del Contrato o instrucciones de la Dirección de Obra, o no realice el trabajo de acuerdo con lo convenido en el Plan de Obra.
- El Contratista no cuente con un representante cualificado o trabajadores o subcontratistas competentes, o materiales apropiados, o deje de efectuar el pago de sus obligaciones con ello.

La rescisión del Contrato por parte de la Propiedad se llevará a cabo después de 10 días de haber enviado notificación escrita al Contratista de su intención de rescindir el Contrato, el Propietario tomará posesión del trabajo, de todos los materiales, herramientas y equipos aunque sea propiedad de la Contrata y podrá finalizar el trabajo por cualquier medio y método que elija.

El Contratista podrá suspender el trabajo o cancelar el Contrato después de 10 días de la notificación al Propietario y a la Dirección de Obra de su intención, en el caso de que por orden de cualquier tribunal u otra autoridad se produzca una parada o suspensión del trabajo por un periodo de 90 días seguidos y por causas no imputables al Contratista o a sus empleados.

Se considerarán causas suficientes de rescisión de Contrato, las que a continuación se detallan:

- Fallecimiento o incapacidad del Contratista.
- Quiebra del Contratista o suspensión de pagos.

En estos dos casos, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso, tengan derecho a aquellos a indemnización alguna.

En caso de quiebra del Contratista se hará un concurso entre los acreedores del mismo. El Contrato quedará rescindido, a no ser que los sindicatos correspondientes ofrezcan llevar a cabo la obra bajo las condiciones estipuladas en este convenio y en los documentos adicionales. La empresa contratante podrá admitir o rechazar el ofrecimiento sin que en este último caso tenga derecho a indemnización alguna. Igualmente quedará rescindido el contrato cuando el Contratista no cumpla las obligaciones contraídas en el Contrato.

-Alteraciones del contrato por alguna de las siguientes causas:

- Modificación del Proyecto de tal forma que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la Dirección de Obra y en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones represente alrededor del 25 % como mínimo del importe de aquél.
- Modificación de las unidades de obra. Siempre que estas modificaciones representen variaciones del 40 % como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las mediciones del Proyecto, o más del 50 % de unidades del Proyecto modificadas.
- Cuando se cumpla el plazo final de las obras y falte por ejecutar más del 20 % del presupuesto de obra.
- La imposición de las multas establecidas por los retrasos no obligará a la Propiedad a la prórroga del mismo, siendo potestativo por su parte elegir ante la resolución o la continuidad del Contrato.
- Cuando no se hubiera realizado el montaje de las instalaciones y unidades auxiliares o no se hubiera aportado la maquinaria relacionada en la oferta o su equivalente en potencia o capacidad en los plazos previstos con un margen del 25 %; o en el caso de que el Contratista sustituya maquinaria sin autorización.
- Cuando transcurrido un tiempo de tres meses consecutivos y considerados conjuntamente, no se alcanzase un 50 % del programa aprobado para la obra.
  - La suspensión de obra una vez comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un mes, y en todo caso siempre que por causas ajenas a la contrata no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de 3 meses contados a partir de la adjudicación, en cuyo caso, la devolución de la fianza será automática.
  - La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.
  - El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares de Proyecto.
  - El incumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido a mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
  - La terminación del plazo de la obra, sin finalizarse la construcción de la central, sin causa justificada.
  - El abandono de la obra sin causa justificada.
  - La mala fe en la ejecución de los trabajos.
  - En caso de rescisión del Contrato con el Contratista por causas de fuerza mayor se abonará al mismo tiempo el importe de la obra ejecutada y lo correspondiente a los materiales ya adquiridos.
  - La inobservancia del plan cronológico de la obra y en especial del plazo de ejecución y terminación total de la misma.

- En caso de cancelación, la Propiedad tendrá derecho a estar inmediatamente en posesión de los pedidos en curso y de la parte o partes de la obra que la Propiedad seleccione, junto con los materiales y herramientas, bien sean de la parte contratante o del Contratista. El Contratista será razonablemente pagado por el alquiler que haya sido convenido con la Propiedad por el uso de las herramientas del Contratista, o si este lo prefiere, puede retirar dichas herramientas siempre y cuando:
  - El retiro de tales herramientas no afecte a la terminación de las obras.
  - La Propiedad esté de acuerdo con dicho retiro.
  - El coste del retiro vaya a cuentas del Contratista.

Las herramientas del Contratista, empleadas para la terminación de la obra, serán desmanteladas, cargadas y si es el caso, preparadas para el embarque por la Propiedad.

Todos los costes derivados después de que las herramientas sean cargadas al transporte o abandonen los dominios de la Propiedad, serán por cuenta del Contratista, independientemente de que sean manejadas, movidas o embarcadas por el Contratista o por la Propiedad.

Todos los materiales o equipos que estén bajo pedido en el momento de la cancelación serán manejados hasta su entrega y facturación indistintamente por la Propiedad o por la empresa contratada, según se decida en el tiempo de cancelación del Contrato.

El Contratista será reembolsado por todas las facturas que deba o hayan sido pagadas después de la cancelación, de acuerdo con las condiciones aplicables a lo gastado. Cuando la Propiedad así lo solicite el Contratista le transferirá todos los pedidos abiertos o pedidos cuyos materiales no hayan sido entregados. En tal caso, el vendedor será informado de la transferencia por el Contratista y cambiará de manera correspondiente su procedimiento de facturación.

En el caso de que dichas facturas sean remitidas al Contratista, entre las dos partes habrá de llegarse a un acuerdo mutuo con respecto al método de pago. Siempre que el Contratista sea requerido para el pago de las facturas deberá ser reembolsado por tales costes añadiendo el porcentaje especificado.

En el caso de que la cancelación de este convenio se deba a la decisión de la Propiedad de no continuar la obra, o por otras causas con respecto a la conclusión de la obra, todos los convenios que aquí figuran serán aplicados con las siguientes especificaciones:

-El Contratista procederá inmediatamente a cancelar todas las órdenes de compra de materiales o equipos entregados avisando a cada vendedor de la intención de cancelar dichas órdenes. El vendedor avisará de los cargos de cancelación y de existir estos él deberá notificar detalladamente tales cargos al Contratista. Este avisará entonces inmediatamente a la

Propiedad de dichos cargos y solicitará una declaración de aceptación de la Propiedad.

-La Propiedad reembolsará al vendedor todos los costes mencionados, bien sean costes de cancelación del vendedor u otros costes resultantes de la cancelación.

-En general, la Propiedad rescatará cualquier envío sobre el que la cancelación sea del 100 % del precio de compra aunque el Contratista avisará a la Propiedad de dichos pagos antes de que el vendedor sea notificado para continuar.

---

### **PC.3 CONDICIONES PARTICULARES**

---

Las condiciones particulares o prescripciones técnicas particulares son aquellas en las que se hace una descripción de los materiales, equipos y maquinaria y por otra parte las condiciones de ejecución de obras.

#### **PC.3.1 DISPOSICIONES DE CARÁCTER PARTICULAR**

---

Las disposiciones de carácter particulares y de ámbito técnico son:

-Normativa de la Asociación Española de Normalización (AENOR).

-Normativa tecnológica de Edificación:

- Instalaciones de fontanería. Abastecimiento (IFA)
- Instalaciones de salubridad. Alcantarillado (ISA)
- Instalaciones eléctricas. Alumbrado exterior (ICE)
- Instalaciones eléctricas. Red exterior (IR)
- Instalaciones eléctricas. Puesta a tierra (IEP)

#### **PC.3.2 DISPOSICIONES DE MATERIALES, EQUIPOS Y MAQUINARIA**

---



### **PC.3.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

---

Todos los materiales que se empleen en la construcción, han de cumplir las normas que se encuentran en el catálogo de normas UNE de 2011.

Para aquellos materiales en los que no haya nada especificado, se seguirán las instrucciones de la Dirección de Obra, y en cualquier caso serán de la mejor calidad entre los de su clase.

Además, estos materiales podrán ser sometidos a pruebas o análisis por cuenta de la Contrata que se crean necesarios para acreditar su calidad; aquel material que a juicio de la Dirección de Obra no reúna las condiciones exigidas será rechazado.

### **PC.3.2.2 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS**

---

El material a utilizar en la fabricación de los equipos es el que se especifique en el anejo correspondiente al diseño de cada uno de los equipos.

Los materiales utilizados en los equipos de la instalación son acero al carbono y acero inoxidable AISI 304L.

Las diferentes normas a las que están sujetos los materiales para la fabricación de los equipos y ensayos de estos materiales son:

-UNE-EN ISO 10289:2001 métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.

-UNE-EN ISO 1461:2010 recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

-UNE-EN 10257-2:2012 alambres de acero no aleado recubiertos de cinc o aleaciones de cinc para armado de cables para el transporte de energía o cables para telecomunicaciones. Parte 2: Cables submarinos.

-UNE-EN ISO 9227:2012 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.

-UNE-EN ISO 4516:2002 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayos de microdureza Vickers y Knoop.

-UNE-EN ISO 1456:2010 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos electrolíticos de níquel, níquel más cromo, cobre más níquel y de cobre más níquel más cromo.

-UNE-EN ISO 2081:2010 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimiento electrolíticos de cinc con tratamientos suplementarios sobre hierro o acero.

-UNE-EN ISO 2082:2010 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimiento electrolíticos de cadmio con tratamientos suplementarios sobre hierro o acero.

-UNE 112039:1994 Recubrimientos de aleación de estaño níquel. Especificaciones y métodos de ensayo.

-UNE 112040:1994 Recubrimiento electrolítico de aleación estaño-plomo. Especificaciones y métodos de ensayo.

-UNE 112041:1994 Recubrimiento metálico. Depósitos electrolíticos de estaño. Especificaciones y métodos de ensayo.

-UNE 112050:1994 Capas de conversión crónica sobre recubrimientos electrolíticos de cinc y cadmio.

-UNE-EN ISO 9717:2013 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos de conversión por fosfatado de metales.

-UNE-EN 582:1994 Proyección térmica. Medida de adherencia por ensayo de tracción.

-UNE-EN ISO 2063:2005 Proyección térmica. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Cinc, aluminio y sus aleaciones.

-UNE-EN ISO 10289:2001 Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.

-UNE-EN ISO 2064:2001 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Definiciones y principios concernientes a la medida del espesor.

-UNE-EN ISO 2178:1996. Recubrimientos metálicos no magnéticos sobre metal base magnético. Medida del espesor. Método magnético.

-UNE-EN ISO 21787:2007 Válvulas industriales. Válvulas de globo de materiales termoplásticos.

-UNE-EN ISO 2819:1996 Recubrimientos metálicos sobre base metálica. Depósitos electrónicos y depósitos por vía química.

Lista de los diferentes métodos de ensayo de adherencia (ISO 2819:1980):

-UNE-EN ISO 3613:2011 Recubrimientos de conversión crómica sobre cinc, cadmio, aleaciones de aluminio-cinc y aleaciones de cinc-aluminio. Métodos de ensayo.

-UNE-EN ISO 3892:2002 Recubrimientos de conversión sobre materiales metálicos. Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de superficie. Métodos gravimétricos.

-UNE-EN ISO 4518:1996 Recubrimientos metálicos. Medición del espesor. Método perfilométrico.

-UNE-EN ISO 10289:2001 Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.

-UNE-EN ISO 4543:1996 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Directrices generales para los ensayos de corrosión aplicables a condiciones de almacenamiento.

-UNE-EN ISO 6988:1996 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Ensayo al dióxido de azufre con condensación general de humedad.

-UNE-EN ISO 7384:1996 Ensayos de corrosión en atmósfera artificial. Prescripciones generales.

-UNE-EN ISO 7441:1996 Corrosión de los metales y aleaciones. Ensayo de corrosión bajo tensión. Parte 1: guía general de métodos de ensayo.

-UNE-EN ISO 7539-3:1996 Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 3: preparación y utilización de probetas en U.

-UNE-EN ISO 7539-4:1996 Corrosión de materiales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 4: preparación y utilización de probetas para ensayos de tracción uniaxial.

-UNE-EN ISO 7539-5:1996 Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 5: preparación y uso de probetas con forma de C.

-UNE-EN ISO 7539-6:2012 Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 6: preparación y uso de probetas prefisuradas para ensayos bajo carga constante o desplazamiento constante.

-UNE-EN ISO 7539-7:2006 Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión. Parte 7: ensayo a baja velocidad de deformación.

-UNE-EN ISO 8401:1996 Recubrimientos metálicos. Revisión de los métodos de determinación de la ductilidad.

-UNE-EN 10289:2003 Tubos y accesorios de acero para canalizaciones enterradas y sumergidas. Recubrimientos externos a base de resina epoxi modificada y aplicados en estado líquido.

-UNE-EN ISO 8565:2012 Metales y aleaciones. Ensayos de corrosión atmosférica. Requisitos generales.

-UNE-EN ISO 9220:1996 Recubrimientos metálicos. Medida del espesor del recubrimiento. Método de microscopía electrónica de barrido.

-UNE-EN ISO 10062:2009 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales con muy bajas concentraciones de gases contaminantes.

-UNE-EN 13162:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de la lana mineral (MW). Especificación.

-UNE-EN ISO 8497:1997 Aislamiento térmico. Determinación de las propiedades relativas a la transmisión de calor en régimen estacionario en los aislamientos térmicos para tuberías.

-UNE-EN 12667:2002 Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica. Productos de alta y media resistencia térmica.

-UNE-EN 822:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la longitud y de la anchura.

-UNE-EN 13820:2008 Materiales aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del contenido orgánico.

-UNE-EN 13467:2002 Productos aislantes térmicos para equipos de edificación e instalaciones industriales. Determinación de las dimensiones, rectangularidad y linealidad de coquillas aislantes preformadas.

-UNE-EN ISO 7345:1996 Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones.

-UNE-EN ISO 8497:1997 Aislamiento térmico. Determinación de las propiedades relativas a la transmisión de calor en régimen estacionario en los aislamientos térmicos para tuberías.

-UNE-EN ISO 9251:1996 Aislamiento térmico. Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales.

-UNE 112013:1994 Corrosión biológica. Aislamiento e identificación de ferrobacterias en agua y en depósitos acuosos.

-UNE 112015:1994 Corrosión biológica. Método de ensayo para la determinación del potencial de picadura de los aceros inoxidable, en cultivo de bacterias reductoras de nitratos, mediante la técnica potenciodinámica de polarización anódica.

-UNE-EN ISO 3497:2001 Recubrimientos metálicos. Medición del espesor del recubrimiento. Métodos por espectrometría de rayos X.

-UNE-EN 13858:2008 Protección de los metales contra la corrosión. Recubrimientos no electrolíticos de escamas de cinc sobre piezas de hierro o acero.

-UNE-EN ISO 2081:2010 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos electrolíticos de cinc con tratamientos suplementarios sobre hierro o acero.

-UNE-EN ISO 2082:2010 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Recubrimientos electrolíticos de cadmio con tratamientos suplementarios sobre hierro o acero.

-UNE-EN ISO 1463:2005 Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.

-UNE-EN ISO 2361:1996 Recubrimientos electrolíticos de níquel sobre base metálica magnética y no magnética. Medición del espesor. Método magnético.

-UNE-EN ISO 3868:1996 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Medida del espesor. Método basado en el principio de Fizeau de interferometría de haz múltiple.

-UNE-EN ISO 12241:2010 Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo.

-UNE-EN 1602:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la densidad aparente.

### **PC.3.2.3 EQUIPOS**

---

Las normas a las que se encuentran sujetos todos los equipos se encuentran también en el catálogo de Normas UNE de 2011, en la siguiente tabla se muestran el número de normas clasificadas por su naturaleza:

<b>NORMAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS EQUIPOS</b>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>Nº NORMAS</b>
Bienes de equipo industriales y equipos a presión	837
Almacenamiento de productos químicos	74
Tuberías de función, grifería, valvulería y accesorios de materiales metálicos	336

---

### **PC.3.3      CONDICIONES DE EJECUCIÓN**

---

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento serán establecidos en las Normas NBE, así como las correspondientes si procede a equipos, materiales o maquinaria.

Se consideran:

- Movimiento de tierras

Aquí se incluyen los terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación y excavación de zanjas y pozos. La excavación se ajustará a las dimensiones que figuren en los planos o a lo que indique el ingeniero.

- Obras de saneamiento

Se incluyen los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad y las redes de evacuación de aguas pluviales y residuos, desde los puntos donde se cogen hasta la red de alcantarillados, pozos de filtración o equipos de depuración.

- Cimentación

Se incluyen las operaciones de eliminación de troncos, raíces de árboles y otros obstáculos en dicha zona, según normas NBE y NTE. Las zanjas de cimentación se excavarán hasta una profundidad específica en los planos; en cualquier caso debe estar aprobada por la Dirección de Obra antes de colocar el hormigón o ladrillo.

- Estructuras metálicas

Se incluyen las operaciones relacionadas con el diseño, fabricación y montaje de acero para estructuras, según norma NBE, NTE y las especificaciones para materiales.

- Albañilería

Se incluyen aquí las instalaciones en los puntos señalados por los planos, de los bloques de hormigón, ladrillo, piedra y revestimiento de suelos, escaleras y techos.

- Cerrajería y carpintería

Se incluyen todos los trabajos relacionados con la instalación de puertas, ventana y demás elementos de carpintería general y de taller de construcción de edificios. En la cerrajería, se incluyen los operarios relacionados con ajustes para obtener un acabado perfecto.

- Cubiertas de edificios

Se incluye todo lo relacionado con la impermeabilización y aislamiento de cubiertas de edificios. Debido a posibles inclinaciones, los aislamientos serán grapados, para evitar deslizamientos o movimientos inesperados.

- Fontanería

Se indican las operaciones de abastecimiento y distribución de agua.

- Instalación eléctrica

Se incluyen las operaciones relacionadas con la distribución del alumbrado.

- Calefacción y ventilación

Incluyen las instalaciones de ventilación, calefacción y refrigeración.

- Instalaciones de protección contra incendios

Se indican las instalaciones de protección contra fuegos y pararrayos.

- Pinturas y vidrieras

Se indican las operaciones de acabado de pinturas y de las superficies exteriores del edificio, incluyendo la pintura protectora de las superficies metálicas. En las vidrieras se incluyen las operaciones relacionadas con su instalación. Las dimensiones se especifican en los planos.

- Otras no especificadas

Si en el transcurso fuese necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el pliego, el Contratista quedará obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba la Dirección de Obra, quien a su vez cumplirá la normativa vigente. El Contratista no tendrá derecho a reclamación ninguna.

---

**PC.4 CONTRATO**

---

En.....a.....de 20.....

REUNIDOS,

Por una parte, D. ....

Con N.I.F. .... Con domicilio en .....

..... Número ....., Piso ....., Letra ....., Ciudad .....

Provincia ....., Código postal .....

Y por otra parte, D. ....

Con N.I.F. .... Con domicilio en .....

..... Número ....., Piso ....., Letra ....., Ciudad .....

Provincia ....., Código postal .....

CONCURREN

Él/la primero/a en nombre y representación de .....

En adelante denominado EL CONTRATISTA N.I.F. ....

Con domicilio en .....

Número ....., Piso ....., Letra ....., Ciudad .....

Provincia ....., Código postal .....

De cuya sociedad es .....

Los otros, en nombre y representación de .....

En adelante denominado EL CLIENTE. N.I.F. ....

Con domicilio en .....

Número ....., Piso ....., Letra ....., Ciudad .....

Provincia ....., Código postal .....

De cuya sociedad es .....

Representación que ostenta el primero como .....

Y el segundo como .....

Ambas partes manifiestan que dichas atribuciones, con las que actúan, no han sido modificadas, restringidas, limitadas ni anuladas, reconociéndose mutuamente la capacidad legal para obligar respectivamente sus empresas.



## EXPONEN

- 1) Que interesando a la Propiedad contratar los servicios de Ingeniería de Detalle, Gestión de Compras, Activación e Inspección de todos los equipos y materiales para la construcción de una central térmica y analizado las ofertas oportunamente recibidas al respecto en contestación a su petición de oferta, seleccionó la recibida del Contratista, de fecha ..... de ..... de 20..... y demás correspondencia complementaria.
- 2) Que interesado el Contratista por realizar los servicios anteriormente indicados, manifiesta que está plenamente capacitado para ello y que cuenta con la organización y procedimientos técnicos adecuados para llevarlos a cabo.
- 3) Que deseando ambas partes regular contractualmente sus respectivos derechos y obligaciones, convienen y aceptan las condiciones que se recogen en las siguientes cláusulas.

## CLÁUSULAS

### CLÁUSULA 1.- Definiciones

Los siguientes términos tendrán, a los efectos de este Contrato, los significados que a continuación se indica:

-CONTRATO, es el presente acuerdo suscrito entre la Propiedad y el Contratista, con los Anexos que se enumeran, así como cualquier detalle específicamente incorporado y cualquier enmienda o adición al mismo, previa y expresamente aprobado por ambas partes.

-CENTRAL, constituida por las instalaciones establecidas en el presente Contrato.

-LÍMITES DE BATERÍA, contorno de superficie sobre el que se asienta la Central.

-EMPLAZAMIENTO, lugar donde será construida la Central.

-TRABAJO o TRABAJOS, conjunto de servicios que el Contratista presentará a la Propiedad, y que son objeto del presente Contrato.

-PROYECTO, información, datos técnicos, planos, especificaciones y demás documentos que deberá aportar el Contratista, para la definición de la Central.

-DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO, el conjunto de datos facilitados por la Propiedad en base a los que el Contratista debe desarrollar el Proyecto.

-LISTA PARA LA PUESTA EN MARCHA, significa que la Central está terminada, ha pasado definitivamente las pruebas mecánicas y está lista para iniciar su funcionamiento, de acuerdo con el procedimiento de puesta en marcha.

-PUESTA EN MARCHA, es la primera operación de la Central, en la que se encuentra en condiciones normales y continuas de operación.

-MATERIALES, hace referencia a todos y cada uno de los equipos, maquinaria, aparatos y demás elementos de cualquier naturaleza incorporados a la Central.

-PROVEEDOR, cualquier persona o sociedad que suministra materiales.

-LISTA DE PROVEEDORES, relación de proveedores entre los que el Contratista debe solicitar las ofertas de materiales.

## CLÁUSULA 2.- Objeto del Contrato

El objetivo del presente Contrato es el suministro y construcción por parte del Contratista a la Propiedad de los servicios de Ingeniería de Detalle, Gestión de Compras, Activación e Inspección para todos los equipos y materiales, para la central térmica situada en la comarca de Betanzos, A Coruña.

## CLÁUSULA 3.- Obligaciones del Contratista

3.1.- El personal del Contratista dedicado a la realización de los servicios tendrá suficiente capacidad técnica para desarrollar los cometidos de acuerdo con los usos y procedimientos generales y tendrá experiencia en trabajos de análoga naturaleza. La Propiedad se reserva el derecho de pedir la retirada y sustitución de aquellas personas del Contratista que, a juicio de la Propiedad, no reúnen las condiciones necesarias para desempeñar su cometido.

3.2.- El Contratista dispondrá, en todo momento, del personal técnico adecuado en número y cualificación dentro de las diferentes especialidades para realizar el trabajo contratado según la calidad exigida y en el plazo programado, siendo de su cuenta el pago de los salarios.

3.3.- El Contratista responderá de cuantos daños o perjuicios pudieran tener lugar por motivo de su actividad, propietarios de los edificios colindantes, o transeúntes.

3.4.- El Contratista procederá al desalojo de la obra, con todo el personal, maquinaria, equipo y materiales, recogiendo todo desperdicio, escombros o suciedad que se hubiera producido durante la ejecución de la misma, realizando la oportuna limpieza de obra.

3.5.- El contratista cumplirá y hará cumplir a todo el personal que trabaje dentro del recinto industrial de la Propiedad todas las normas de seguridad, tanto las particulares de la Propiedad como las dictadas por las autoridades competentes que le serán facilitadas por la persona responsable de la Propiedad antes de su incorporación al trabajo. En caso de incumplimiento, la Propiedad se reserva el derecho de ejercer una o más de las siguientes acciones:

-Prohibir la entrada a las personas que hayan violado las citadas normas, incluyendo los mandos a quienes alcance la responsabilidad de tal violación.

-Suspender la ejecución de los trabajos en tanto no se asegure el total cumplimiento de las normas de seguridad. Dichas suspensiones no podrán ser alegadas por el Contratista como causa para variar plazos, fechas o precios estipulados en el Contrato.

-Imponer multas al Contratista hasta un valor total de un 10 % del importe total del Contrato, de acuerdo con el baremo de multas vigentes en la fecha de infracción.

-Rescindir el Contrato, ejercitando las acciones que correspondan por indemnización de daños y perjuicios.

#### CLÁUSULA 4.- Obligaciones de la Propiedad

Además de las restantes obligaciones que adquiere en virtud del presente Contrato, la Propiedad se obliga a:

4.1.- Obtener las debidas autorizaciones y permisos oficiales o de otra clase, necesarios para la ejecución del Proyecto, colaborando el Contratista con la Propiedad en aquellos que razonablemente se soliciten.

4.2.- Seleccionar o aprobar el proveedor de los materiales.

4.3.- Firmar los pedidos de materiales establecidos por el Contratista.

4.4.- Aprobar y abonar las facturas de los proveedores previamente comprobadas por el Contratista.

4.5.- Tramitar la importación y efectuar el Despacho de Aduanas de materiales extranjeros, a partir de las facturas y descripciones técnicas proporcionadas por el Contratista.

4.6.- Realizar la construcción de la Central por sí mismo o por terceras personas.

4.7.- Asignar un representante residente en las oficinas del Contratista, con facultad para la supervisión de los trabajos objeto de este Contrato.

## CLÁUSULA 5.- Seguros

El contratista mantendrá en vigor a su costa durante el periodo de vigencia de este Contrato los siguientes seguros:

5.1.- De accidente de trabajo y demás seguros de su personal, conforme a la legislación vigente en España.

5.2.- Seguro de responsabilidad civil con garantía limitada a vehículos a motor, propios o contratados, de Contratista o de su personal, que circulen dentro del circuito de las instalaciones de la Propiedad o se utilicen en los servicios de este Contrato.

5.3- Seguro de responsabilidad civil empresarial con una cobertura de 300.000 € sobre riesgos de:

-Responsabilidad civil empresarial.

-Responsabilidad civil profesional de la empresa.

-Responsabilidad civil profesional derivada de la firma del proyecto.

## CLÁUSULA 6.- Plazo de ejecución

El Contratista se compromete a realizar el 100 % de la Ingeniería de Detalle, construcción de la obra y compras de materiales en el plazo de doce meses contados a partir de la fecha de la firma del Contrato.

## CLÁUSULA 7.- Garantías y responsabilidades

7.1.- De la ingeniería.

7.1.1.- El Contratista garantiza a la Propiedad que:

-La ingeniería se basará en la interpretación correcta de los Datos Básicos de Proyecto.

-Su trabajo se realizará de acuerdo con las normas estándar y usos de Ingeniería generalmente aceptados y correctos.

-Cumplirá con los requisitos, normas y ordenanzas exigidos por las autoridades competentes.

7.1.2.- En consecuencia, el Contratista garantiza a la Propiedad la buena concepción técnica y científica de todos sus estudios, proyectos, planos y especificaciones.

7.1.3.- El Contratista garantiza que empleará como criterio de diseño para realizar la Ingeniería de Detalle el de conseguir el trabajo satisfactorio y continuo de la Central, durante razonables periodos de tiempo no inferiores a doce meses, sin interrupciones, sin utilizar el equipo de reserva y sin mayor atención que la normal en este tipo de centrales.

7.1.4. El Contratista garantiza que realizará su trabajo ateniéndose al programa establecido.

7.2.- De materiales.

7.2.1.- El contratista se esforzará en obtener de los proveedores de materiales las garantías más favorables, que pasarán a beneficio de la Propiedad. Las garantías incluirán la reparación del material defectuoso o sustitución del material defectuoso o inadecuado (tanto material como mano de obra), su entrega en el almacén de la propiedad, la supervisión del montaje de tales materiales y su puesta en marcha.

7.2.2.- En caso de ser necesaria la reclamación de las garantías, cuyo plazo en de 12 meses. El Contratista colaborará con la Propiedad en la reclamación de dichas garantías a los proveedores previa petición de la Propiedad.

7.3.- Pruebas de garantías.

7.3.1.- Tan pronto como la Central esté lista para su Puesta en Marcha, el Contratista y la Propiedad aceptarán tal hecho por escrito.

7.3.2.- Si en cualquier momento, bien antes de realizar las pruebas de garantía o después de una prueba de garantía infructuosa, se demostrara que la Central no puede cumplir sus garantías como consecuencia de una ingeniería defectuosa, el Contratista y la Propiedad acordarán las modificaciones necesarias a introducir en la Central.

7.4.- Responsabilidades del Contratista.

7.4.1.- La garantía de la Ingeniería será efectiva por un periodo de doce meses desde la puesta en marcha y en cualquier caso no después de los veinticuatro meses desde la terminación de la ingeniería.

7.4.2.- Si la Central no pudiera ponerse en marcha o su funcionamiento fuese incorrecto como consecuencia de defectos de proyecto imputables al Contratista, este realizará a su cargo todo el trabajo de Ingeniería y Gestión de Compras, Activación e Inspección que le fuera imputable.

7.4.3.- En el caso de que el Contratista fuera incapaz de corregir por sus propios medios los defectos de su Ingeniería, la Propiedad se reserva el derecho a contratar los servicios de terceros, con cargo al Contratista, a fin de subsanar dichos defectos, en cuyo caso, el Contratista perderá sus garantías.

#### CLÁUSULA 8.- Confidencialidad

8.1.- El Contratista mantendrá en secreto y de modo confidencial todos los datos de proceso correspondientes que le hayan sido comunicados por la Propiedad, y no divulgará los mismos, en todo o en parte, a terceros, excepto lo que los suministradores necesiten para cumplir su cometido.

8.2.- La Documentación Técnica del Proyecto es y será propiedad exclusiva de la Propiedad no pudiendo ser utilizada por el Contratista para fines distintos a los previstos en el presente Contrato. Al término del Trabajo serán devueltos a la Propiedad.

8.3.- El Contratista exime a la Propiedad de toda responsabilidad y le indemnizará de todos los gastos y daños que pudieran surgir de cualquier litigio o acción legal contra la Propiedad.

#### CLÁUSULA 9.- Condiciones económicas

La propiedad abonará al Contratista por la realización de su trabajo y en virtud del presente Contrato, la cantidad de ..... € (Euros).

Este precio será fijo y no revisable. Esta cantidad incluye los beneficios y todos los gastos directos e indirectos del Contratista, incluyendo todos los impuestos, tasas gravámenes que recaigan sobre el Contrato, o sean consecuencia de su ejecución a excepción del impuesto sobre el valor añadido, IVA.

#### CLÁUSULA 10.- Condiciones de pago

10.1.- 95 % del precio de contrata

90 % del importe de la certificación aprobada correspondiente al mes anterior.

10.2.- 5 % restante del precio total de contrata y el 10 % restante de cada certificación aprobada correspondiente al mes anterior, lo retendrá la Propiedad en concepto de garantía.

10.3.- FACTURACIÓN: La Propiedad abonará al Contratista las facturas mediante cheque nominativo o por transferencia bancaria en un plazo máximo de noventa días desde la fecha de la facturación.

10.4.- PENALIZACIONES: Si finalizado el plazo de ejecución de las obras, éstas no hubiesen terminado sin motivo justificado por parte de la contrata, se aplicarán los siguientes recargos a imputar al Contratista desde fecha de finalización de las obras.

-Un 0,1 % de la fianza hasta el día 30.

-A partir del día 31 y hasta el 60, la penalización será del 0,5 % de la fianza fijada a diarios.

-A partir del día 60 si se ha finalizado la obra, se realizará la rescisión del Contrato.

#### CLÁUSULA 11.- Cambios en el trabajo

11.1.- La Propiedad se reserva el derecho de introducir las modificaciones que juzgue necesarias durante el desarrollo del Proyecto.

11.2.- Si las modificaciones adicionales solicitadas por la Propiedad afectasen al importe del Contrato y/o plazo de terminación de los trabajos, el Contratista lo pondrá en conocimiento de la Propiedad por escrito dentro de los quince días siguientes al de la solicitud, justificando sus razones. El Contratista no llevará a cabo modificación alguna que la Propiedad no haya aprobado por escrito.

11.3.- No afectarán a los precios del presente Contrato ni al plazo de ejecución del Proyecto las correcciones que el Contratista haya de realizar para subsanar posibles errores por él cometidos.

#### CLÁUSULA 12.- Resolución del Contrato

12.1.- La Propiedad podrá dar por terminado el presente Contrato mediante comunicación escrita y certificada enviada al Contratista, cuando este se declare o sea declarado en suspensión de pagos, de quiebra, insolvencia o en estado de liquidación, o haya establecido en estos casos convenio con sus acreedores sin conocimiento de la Propiedad.

12.2.- Si la Propiedad decidiera dar por rescindido el Contrato a causa del incumplimiento por parte del Contratista o no, comunicará tal decisión al Contratista por escrito con una anticipación no inferior a treinta días.

12.3.- Si se procediese a la cancelación del Contrato, el Contratista entregará a la Propiedad toda la documentación técnica en su poder y la Central, en el estado de terminación en que se encontrase pasaría a ser de la Propiedad sin retribución alguna de uso.

**CLÁUSULA 13.- Arbitraje**

Las partes se comprometen a cumplir el presente Contrato de buena fe resolviendo, por medio de negociaciones y acuerdos amistosos, cualquier diferencia que pudiera surgir entre ellos en relación con la aplicación, interpretación cumplimiento del mismo.

Cualquier controversia que surgiese entre las partes y que no fuera resuelta de forma amistosa, será finalmente decidida mediante arbitraje de equidad de tres árbitros, conforme a las normas contenidas en la Ley de Arbitraje del Derecho Internacional Privado de 5 de Diciembre de 1998 modificado por la Ley 60/2003, de 23 de Diciembre de Arbitraje.

Cada una de las partes designará un árbitro, y la designación del tercero recaerá en la persona que ocupe en aquel momento la Presidencia de la Cámara de Comercio de la provincia donde se implante la Central.

En todas cuantas exposiciones y cláusulas sus otorgantes se afirman y ratifican, firmando el presente contrato, en el lugar y fecha indicados.

N.I.F. FECHA Y FIRMA DE: LA PROPIEDAD

N.I.F. FECHA Y FIRMA DE: EL CONTRATISTA

N.I.F. FECHA Y FIRMA DE: EL INGENIERO



---

**PC.5 HOJA DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPO PRINCIPAL**


---

<b>CALDERA DE VAPOR</b>		
1	AUTOR	GUILLERMO MIRA OSUNA
2	FECHA	14/07/2015
3	CLIENTE	UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
4	DIRECCIÓN	Plaza de los Caídos, S/N 37008 SALAMANCA
5	LOCALIZACIÓN	A Coruña
7	UNIDADES POR GRUPO	1
8	UNIDADES EN CENTRAL	5
9	DESCRIPCIÓN	Alberga la reacción de combustión y cede la energía liberada al fluido de trabajo
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>		
10	ABSORCIÓN TOTAL DE CALOR	$3.72 \cdot 10^9$ kJ/h
11	TIPO	ACUOTUBULAR
12	EFICIENCIA TÉRMICA	82.45%
13	<b>TUBOS</b>	
14	FLUIDO DE TRABAJO	AGUA-VAPOR
15	PRESIÓN DE OPERACIÓN	170 bar
16	MATERIAL	Acero inoxidable austenítico XA704
17	COMPOSICIÓN EN PESO	18Cr-9Ni-2W—Nb-V-Ni

<b>REQUERIMIENTOS DE PROCESO POR UNIDAD</b>	
FLUJO MÁSICO DE COMBUSTIBLE	182,330 kg/h
FLUJO MÁSICO DE COMBURENTE	1,718,914 kg/h
FLUJO MÁSICO DE GAS DE COMBUSTIÓN DE SALIDA	1,861,977 kg/h
FLUJO MÁSICO DE CENIZA DE SALIDA	39,267 kg/h
FLUJO MÁSICO DE AGUA SUBENFRIADA	1,247,000 kg/h
FLUJO MÁSICO DE VAPOR SOBRECALENTADO	1,247,000 kg/h
FLUJO MÁSICO DE VAPOR RECALENTADO DE ENTRADA	1,247,000 kg/h
FLUJO MÁSICO DE VAPOR RECALENTADO DE SALIDA	1,247,000 kg/h

<b>SUPERFICIES TERMO-INTERCAMBIADORAS</b>		
<b>GENERADOR DE VAPOR</b>		
CALOR ABOSORBIDO	1.07·10 <sup>9</sup> kJ/h	
ÁREA DE INTERCAMBIO	1,218 m <sup>2</sup>	
SITUADO EN	HOGAR	
TEMPERATURA DEL HOGAR	1400 °C	
	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>
ESTADO	AGUA SATURADA 170 BAR	VAPOR SATURADO 170 BAR
TEMPERATURA	352 °C	352 °C
TEMPERATURA DE GAS DE COMBUSTIÓN	-	1260 °C
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS</b>		
DIAMETRO EXTERNO	63.50 mm	
ESPESOR	2.98 mm	

SEPARACIÓN LATERAL	25.4 mm
<b>DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIONES</b>	
DISPOSICIÓN	VERTICAL
FILAS	1
COLUMNAS	50
LARGO	4.5 m
ALTO	30.5 m
ANCHO	4.5 m
VOLUMEN	609.8 m <sup>3</sup>

<b>SOBRECALENTADOR</b>		
CALOR ABOSORBIDO	1.10·10 <sup>9</sup> kJ/h	
ÁREA DE INTERCAMBIO	758 m <sup>2</sup>	
SITUADO EN	ZONA DE CHOQUE Y ZONA DE CONVECCIÓN	
	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>
ESTADO	VAPOR SATURADO 170 BAR	VAPOR SOBRECALENTADO 170 BAR
TEMPERATURA	352 °C	550 °C
TEMPERATURA DE GAS DE COMBUSTIÓN	1260 °C	1074 °C
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS</b>		
DIAMETRO EXTERNO	50.80 mm	
ESPESOR	2.98 mm	
SEPARACIÓN LATERAL	127 mm	
<b>DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIONES</b>		
DISPOSICIÓN	HORIZONTAL	
FILAS	25	
COLUMNAS	25	
LARGO	7.6 m	
ALTO	4.6 m	
ANCHO	4.6 m	
VOLUMEN	158.9 m <sup>3</sup>	

<b>RECALENTADOR</b>		
CALOR ABOSORBIDO	5.44·10 <sup>8</sup> kJ/h	
ÁREA DE INTERCAMBIO	603 m <sup>2</sup>	
SITUADO EN	ZONA DE CONVECCIÓN	
	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>
ESTADO	VAPOR SOBRECALENTADO 45 BAR	VAPOR SOBRECALENTADO 42 BAR
TEMPERATURA	366 °C	550 °C
TEMPERATURA DE GAS DE COMBUSTIÓN	1074 °C	846 °C
	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS</b>	
DIAMETRO EXTERNO	50.80 mm	
ESPESOR	2.98 mm	
SEPARACIÓN LATERAL	127 mm	
	<b>DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIONES</b>	
DISPOSICIÓN	VERTICAL	
FILAS	25	
COLUMNAS	25	
LARGO	4.6 m	
ALTO	6 m	
ANCHO	4.6 m	
VOLUMEN	126.3 m <sup>3</sup>	

<b>ECONOMIZADOR</b>		
CALOR ABSORBIDO	1.00·10 <sup>9</sup> kJ/h	
ÁREA DE INTERCAMBIO	1788 m <sup>2</sup>	
SITUADO EN	ZONA DE CONVECCIÓN	
	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>
ESTADO	AGUA SUBENFRIADA 170 BAR	AGUA SATURADA 170 BAR
TEMPRATURA	206 °C	352 °C
TEMPERATURA DE GAS DE COMBUSTIÓN	846 °C	389 °C
	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS</b>	
DIAMETRO EXTERNO	50.80 mm	
ESPESOR	2.98 mm	
SEPARACIÓN LATERAL	127 mm	
	<b>DISTRIBUCIÓN Y DIMENSIONES</b>	
DISPOSICIÓN	VERTICAL	
FILAS	25	
COLUMNAS	25	
LARGO	4.6 m	
ALTO	17.9 m	
ANCHO	4.6 m	
VOLUMEN	374.7 m <sup>3</sup>	
	<b>PÉRDIDAS DE EFICIENCIA</b>	
POR CALOR SENSIBLE DE HUMOS	15.57%	
POR CALOR ABSORBIDO POR EL AGUA	0.84%	
DEBIDO A HUMEDAD DEL COMBURENTE	0.13%	
POR FACTORES DE TRANSMISIÓN DE CALOR	1%	

---

## **PC.6 BIBLIOGRAFÍA**

---

**Asignatura Proyectos en Ingeniería Química, curso 2014/2015. 2015. *Planta de Producción de Ciclohexano*. Salamanca : Universidad de Salamanca.**

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

PRESUPUESTO





---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>P-1</b>
<b>P.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....</b>	<b>P-1</b>
<b>P.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA .....</b>	<b>P-1</b>
P.2.1 GASTOS GENERALES .....	P-2
P.2.2 BENEFICIO INDUSTRIAL .....	P-2
P.2.3 IMPUESTO AL VALOR AGREGADO .....	P-2
<b>P.3 PRESUPUESTO TOTAL DE OBRAS .....</b>	<b>P-2</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla P-I Partidas de capital físico .....P-1

---



---

## PRESUPUESTO

---



---

### P.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

---

El presupuesto de ejecución material es igual al coste del capital físico. Éste valor se calcula a partir de las partidas obtenidas en el Anexo de Evaluación Económica que se muestran en la Tabla P-I.

Partida	Euros
Maquinaria y aparatos	408,010,720
Instrumentación	31,385,440
Instalación eléctrica	47,078,160
Aislamiento térmico	21,969,808
Terreno y edificación	15,692,720
Instalaciones auxiliares	78,463,600

*Tabla P-I Partidas de capital físico*

Presupuesto de ejecución material = 602,600,448 €

---

### P.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

---

Se divide en gastos generales, beneficio industrial e impuesto al valor agregado. Su valor total se calcula como la suma de las tres partidas más el valor del presupuesto de ejecución material.

:

Presupuesto de ejecución por contrata = 853,101,454 €

---

### **P.2.1 GASTOS GENERALES**

---

Corresponde al 12% del presupuesto de ejecución material.

Gastos generales = 72,312,054 €

### **P.2.2 BENEFICIO INDUSTRIAL**

---

Es el 5% del presupuesto de ejecución material.

Beneficio industrial = 30,130,022 €

### **P.2.3 IMPUESTO AL VALOR AGREGADO**

---

La carga fiscal es del 21% que aplica a la suma del presupuesto de ejecución material, gastos generales y beneficio industrial.

IVA = 148,058,930 €

---

## **P.3 PRESUPUESTO TOTAL DE OBRAS**

---

El presupuesto total de obras se calcula sumando al presupuesto de ejecución por contrata el 7% de su valor. El valor del presupuesto de ejecución material está incluido en la cifra neta.

Presupuesto total de obras = 912,818,556 €

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO DE CENTRAL TÉRMICA DE  
CICLO CONVENCIONAL

GUILLERMO MIRA OSUNA

ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE  
INDUSTRIAL



---

---

## ÍNDICE

---

---

<b>ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL .....</b>	<b>E-1</b>
<b>E.1 FICHAS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>E-1</b>
E.1.1 CARBÓN.....	E-1
E.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO .....	E-1
E.1.2 MONÓXIDO DE CARBONO .....	E-2
E.1.3 DIÓXIDO DE AZUFRE.....	E-2
<b>E.2 LÍMITES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA .....</b>	<b>E-3</b>
<b>E.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL LUGAR DE TRABAJO.....</b>	<b>E-3</b>
E.3.1 RIESGOS DE MATERIA COMBUSTIBLE .....	E-3
E.3.1.1 PREVENCIÓN DE RIESGO ELÉCTRICO .....	E-4
E.3.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	E-4
<b>E.4 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>E-5</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla E-I Valores límite de emisiones contaminantes.....E-3



---

---

# **ESTUDIO DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL**

---

---

---

## **E.1 FICHAS DE SEGURIDAD**

---

Las fichas internacionales de seguridad química (Fichas ISCS) son registros sobre productos químicos que recopilan datos de los peligros que supone trabajar con ellos y la prevención de los mismos. (International Labour Organization, 2012)

A continuación se exponen las Fichas ISCS de los compuestos presentes en el proceso de generación de electricidad. No se incluyen los compuestos como el agua o el nitrógeno, que no presentan un riesgo inmediato en condiciones normales.

### **E.1.1 CARBÓN**

---

Combustible: riesgo de explosión.

- Evitar llamas en espacios abiertos.
- Evitar chispas.
- Evitar la deposición de polvo en superficies.

### **E.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO**

---

No tiene riesgo de inflamabilidad, no es combustible.

Su inhalación puede producir vértigo, dolor de cabeza, aumento de la presión, ritmo cardíaco acelerado, asfixia e incluso pérdida del conocimiento.

### **E.1.2 MONÓXIDO DE CARBONO**

Extremadamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.

- Evitar las llamas.
- No producir chispas.
- No fumar en atmósferas que contengan monóxido de carbono.
- Las mezclas del gas con aire son explosivas.

Su inhalación puede producir dolor de cabeza, confusión mental, vértigo, náuseas, debilidad y pérdida del conocimiento.

### **E.1.3 DIÓXIDO DE AZUFRE**

No combustible. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.

Su inhalación produce tos, jadeo, dolor de garganta y dificultad respiratoria.

---

## **E.2 LÍMITES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA**

---

La central térmica debe de respetar durante todo el período de funcionamiento los límites establecidos de liberación de gases contaminantes, mostrados en la Tabla E-I. Además se destinará una parte de sus beneficios a la investigación y desarrollo de sistemas de captura y almacenamiento de dióxido de carbono.

	mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	<1100
NO <sub>x</sub>	<1300

*Tabla E-I Valores límite de emisiones contaminantes (Merino García, 2015)*

---

## **E.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL LUGAR DE TRABAJO**

---

### **E.3.1 RIESGOS DE MATERIA COMBUSTIBLE**

---

Para minimizar los riesgos generados principalmente por el carbón, se llevarán a cabo rutinariamente labores de mantenimiento de estructuras y limpieza de superficies. Además, los depósitos de combustible deben estar siempre bajo la supervisión de los operarios de la caldera de vapor.

Como prevención de incendios se instalan extintores en cada punto de interés de la central (como salidas de evacuación). Deben estar situados de manera accesible y su posición debe ser visible para cualquier operario próximo.

Los diferentes edificios de la central contarán con alarmas de emergencia para evacuar al personal. La señal será en todo caso acústica, y el sistema de funcionamiento de las alarmas dispondrá de dos fuentes de alimentación para evitar posibles fallos.

### **E.3.1.1 PREVENCIÓN DE RIESGO ELÉCTRICO**

Para evitar accidentes relacionados con la instalación eléctrica se aplican las siguientes medidas:

- Doble aislamiento para fuentes de alta tensión.
- Mantenimiento y revisión periódica de las instalaciones.
- Señalización de zonas de alta tensión.
- Instalación de diferenciales para interrumpir el flujo de corriente eléctrica.

### **E.3.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN**

Debido a la peligrosa naturaleza de los compuestos presentes en el gas de combustión, es importante asegurar que el sistema de ventilación de la central funciona correctamente y es efectivo.

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones (Mecklenburgh, 1978):

- Las tomas de aire deben situarse alejadas de zonas que puedan contener monóxido de carbono, dióxido de carbono o dióxido de azufre; de esta manera se evita el riesgo de introducir estos gases a la zona a ventilar.
- Los conductos de aspiración o descarga deben colocarse de forma que no se formen cortocircuitos.
- El aire que se vierta al exterior puede necesitar un tratamiento de separación de partículas de lavado o filtrado.

---

## E.4 BIBLIOGRAFÍA

---

**International Labour Organization.** 2012. ICSC database. *International Chemical Safety Cards*. [En línea] [Consultado: 19 de agosto de 2015.]

—. **2012.** ICSC database. *Carbon*. [En línea] [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0702&p\\_version=1](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0702&p_version=1). ICSC 0702.

—. **2012.** ICSC database. *Sulphur dioxide*. [En línea] [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0074&p\\_version=1](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0074&p_version=1). ICSC 0074.

—. **2012.** ICSC database. *Carbon dioxide*. [En línea] [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0021&p\\_version=1](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0021&p_version=1). ICSC 0021.

—. **2012.** ICSC database. *Carbon monoxide*. [En línea] [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=en&p\\_card\\_id=0023&p\\_version=1](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0023&p_version=1). ICSC 0023.

**Mecklenburgh, J. C.** 1978. *Implantación de plantas*. Madrid : Ediciones del Castillo. ISBN 9788421901632.

**Merino García, A.** 2015. *Comunicación personal*. Endesa. Responsable de operación en UPT Compostilla. Cubillos de Sil (León, España).