



Vicerrectorado de Docencia
Negociado de Espacio Europeo de Educación Superior
Universidad de Salamanca

Asunto: Informe de ejecución del
Proyecto Innovación Docente ID 2021/171

Título: Plataforma web para resolver problemas de cálculo de
intensidades de cortocircuito en redes eléctricas malladas.

Financiación: 0.00 €

Coordinador: Norberto Redondo Melchor.

Resumen del informe: Objetivos propuestos cumplidos al 100%.

Se ha mejorado la aplicación programada en R hace unos años, que corre en un servidor web virtual de la USAL y que interactúa con cualquier navegador de internet compatible HTML5, añadiendo un nuevo módulo para resolver complicados problemas de potencias e intensidades de cortocircuito sin necesidad de instalar nada en el ordenador de cada alumno.

Las prestaciones conseguidas son equivalentes a las de los programas comerciales (decenas de miles de euros) o a las de los complementos de Matlab (también de pago para los estudiantes), pero esta solución le sale gratis al alumno.

Como la Universidad me ha facilitado un servidor web Linux virtual con acceso a internet, mis alumnos y cualquier otro estudiante de ingeniería eléctrica del mundo pueden ya resolver este tipo de problemas y aprender a gestionar redes eléctricas reales con la precisión de los sistemas usados día a día.

Adjuntamos informe.

Béjar, 28 de julio de 2022

Prof. Dr. Norberto Redondo Melchor / Coordinador del Proyecto
Tel: 667 365 675



PLATAFORMA WEB PARA RESOLVER PROBLEMAS DE CÁLCULO DE INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO EN REDES ELÉCTRICAS MALLADAS

INFORME DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE ID 2021/171

I. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS.....	3
II. CALENDARIO SEGUIDO	4
III. OPINIÓN PERSONAL DE LOS DOCENTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	5
IV. CONCLUSIÓN.....	6



I. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

OBJETIVO ÚNICO:

El alumno de Grado en ingeniería eléctrica o del Máster en Ingeniería Industrial debe poder resolver problemas de cálculo de intensidades máximas de cortocircuito en redes eléctricas malladas con un coste despreciable tanto en tiempo como en dinero. Con la aplicación web que hemos creado, mejorando considerablemente la disponible en cursos pasados, se ha conseguido todo ello.

MÉTODO ELEGIDO:

Este proyecto sigue la senda de los otros que hicimos cursos anteriores. Una aplicación web permite, mediante cualquier ordenador con un navegador de internet compatible HTML5 (todos los modernos menos el Explorer) plantear gráficamente el problema y resolver la red según los algoritmos que se explican en clase..

El procedimiento práctico ha sido este:

- Se monta un servidor web en Linux con acceso a internet.
- Se carga el paquete R en dicho servidor, y se sube la aplicación programada por nosotros (un R *package*).
- Se sube a ese servidor también la librería OPENCPU escrita en Javascript.
- Se sube la página web de inicio, programada en HTML5 y Javascript que ofrece una interface agradable para el usuario, recoge los datos del problema, lanza la consulta a R en el servidor, recoge los resultados del problema y los muestra de forma gráfica y tabulada (ambas).

Lo hemos probado en clases del segundo cuatrimestre de este curso y el resultado siempre ha sido el correcto. El tiempo de espera apenas llega a los 2 segundos por cálculo y alumno. Ha salido muy bien.



II. CALENDARIO SEGUIDO

- Elaboración del material:
 - En octubre 2021 ya disponíamos de un paquete programado en R fiable.
 - En diciembre 2021 ya funcionaba la interface gráfica. Quedaban pequeños problemillas que, a la larga, nos dieron casi tanto trabajo como todo el proyecto junto.
 - La docencia en clase con alumnos resultó fácil y satisfactoria por todas las partes: me sentí muy cómodo usando la aplicación y ellos en casa confirmaron que es una excelente herramienta de aprendizaje.
 - No la pude usar en el Grado porque la asignatura donde se necesita es del primer cuatrimestre. Lo haré el próximo curso sin falta.
- Manual de instrucciones:
 - No hace ninguna falta, pues todo el que necesite resolver problemas de flujos de carga en Sistemas eléctricos de potencia sabe qué problemas son, qué datos que hay que introducir, e identifica enseguida dónde hay que meter cada uno. Y los resultados se explican por sí mismos.
- Memoria de las actividades realizadas:
 - Esta memoria, antes del 30 de junio de 2022.
 - El resultado puede usarse desde

<http://flux.usal.es/ocpu/library/Flujos050/www/>



III. OPINIÓN PERSONAL DE LOS DOCENTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

El grado de cumplimiento de los objetivos planteados ha sido muy elevado.

El funcionamiento de la herramienta de cálculo es incluso mejor al esperado. Así, por ejemplo:

- La interface gráfica permite arrastrar y hacer zoom para mostrar bien los resultados, resultado agradabilísima de usar.
- La potencia de cálculo es tan alta que no hemos encontrado límite razonable acerca del número de nudos y líneas de la red a resolver. Quiero decir que el límite existirá, pero que ir más allá de 10 ó 15 nudos y 20 ó 30 líneas es convertir cualquier problema en incomprensible y anti pedagógico, por lo que podemos afirmar que la nueva herramienta no tiene límite de cálculo.

La acogida por parte del alumnado de esta estrategia docente en años anteriores (primera versión) ha sido enormemente favorable.

Habrà que ensayar el curso que viene con la nueva herramienta, pero espero que todo vaya igual de bien que hasta ahora porque la aplicación web es totalmente estable y robusta.



IV. CONCLUSIÓN

El resultado del Proyecto de innovación docente ha sido excelente.

La experiencia adquirida ha sido satisfactoria por todos los conceptos, al menos para mi como profesor, puesto que he continuado aprendido a usar una herramienta poderosísima para hacer cualquier aplicación en web que necesite. Los alumnos que prueben la nueva herramienta el próximo curso podrán opinar después, pero creo que irá muy bien, mejor incluso que hasta ahora.

Esto nos estimula a plantear el siguiente paso, que será el de ampliar la herramienta para permitir la optimización económica de los sistemas de potencia, algo que pesábamos hacer en este PID pero que finalmente postpusimos, porque primaba lo de introducir el cálculo de cortocircuitos.

Béjar, 28 de julio de 2022

Dr. Ing. Norberto Redondo Melchor
Coordinador del proyecto
Profesor ayudante
norber@usal.es
+34 667 635 675

A continuación se muestra la interface de la aplicación web programada.



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Avda. Fernando Ballesteros, 2
37700 BÉJAR
Fax 923 40 81 27
Telf. 923 40 80 80

ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PLATAFORMA WEB PARA RESOLVER PROBLEMAS DE FLUJOS DE POTENCIA EN REDES ELÉCTRICAS

Interface web



Para resolver cualquier problema de flujo de cargas es preciso definir la red, asignar un estado de cargas y lanzar después el programa de cálculo en R, que se ejecutará en el servidor Linux donde también debe ubicarse la página web que se muestra a continuación. El resultado es devuelto en décimas de segundo por el servidor a través de internet y aparece automáticamente en la misma página del navegador, sin necesidad de que el usuario instale nada ni haga más que click en el botón de resolver.

DETALLES DEL MODO DE USO

ETSII Béjar - Universidad de Salamanca
 Ingeniería Eléctrica

Resolución de problemas de flujos de carga
 ©2017 Dr. Ing. Norberto Redondo Melchor
 Tel: +34 667 365 675

Tensión nominal red V: 132000
 Valores aceptables: Máx: 132600 V, Mín: 131340 V
 Tolerancia %: 0,5

Impedancia serie: 0.1962+0.428869i Ω/km
 Admitancia paralelo: 0+2.668076i x10⁻⁶ Ω/km
 Porcentaje de carga: 100 %

Iter: 58 Resuelve

Nudo	Load (MVA)	Gener (MVA)	Tensión de nudo U (V)	Intensidad fs. nudo I (A)	Potencia fs. nudo S (kVA)	Añadir nudo	icc
1	0	0	142070+7180i	495.2 L -35.0°	96330+74888i	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>
2	20+15i	0	126334-1907i	114.2 L 142.3°	-20000-15000i	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
3	30+25i	0	124502-2426i	181.1 L 139.1°	-30000-25000i	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
4	40+35i	0	129047+290i	237.8 L 138.9°	-40000-35000i	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>

INI	FIN	km	Añadir	Imáx (A)
1	2	150	<input checked="" type="checkbox"/>	313
2	3	50	<input checked="" type="checkbox"/>	313
3	4	50	<input checked="" type="checkbox"/>	313
4	1	50	<input checked="" type="checkbox"/>	313

Pérdidas en la red (kW): 6329.9757
 Rendimiento de la red (%): 93.4289

Potencias entregadas a las líneas	[1]	[2]	[3]	[4]
[1]	----	28673+18601i	0+0i	67657+56287i
[2]	-26731-21600i	----	6731+6600i	0+0i
[3]	0+0i	-6667-8559i	----	-23333-16441i
[4]	-63827-50377i	0+0i	23827+15377i	----

Intensidades de las líneas	[1]	[2]	[3]	[4]	icc
[1]	----	138.7 L -30.1°	0.0 L -0.0°	357.2 L -36.9°	507.0 L 151.0°
[2]	157.0 L 140.2°	----	43.1 L -45.3°	0.0 L -0.0°	370.4 L 142.1°
[3]	0.0 L -0.0°	50.3 L 126.8°	----	132.3 L 143.7°	372.7 L 142.3°
[4]	363.8 L 141.8°	0.0 L -0.0°	126.9 L -32.7°	----	411.4 L 145.1°

Configure la red utilizando las tablas de la izquierda. Al terminar pulse el botón "Resuelve". Los resultados aparecerán en esta página y en el recuadro blanco superior, que admite zoom y arrastre con el ratón.

El motor de cálculo es un paquete R ejecutando un algoritmo iterativo en el servidor. La interface web es *openCpu* de Jeroen Ooms.

[Flujos05.0]

Esta interface puede usarse en
<http://flux.usal.es/ocpu/library/Flujos050/www>

- Indicar los parámetros generales de la red a estudiar: tensión nominal, rango entre el que se acepta que fluctúen las tensiones de los nudos de la red, impedancias de las líneas y porcentaje de carga de la red que se quiere estudiar.
- Definición de los nudos: número, carga demandada, potencia generada. En el nudo 1 es necesario indicar la tensión, para fijar los potenciales de toda la red. La potencia entregada o demandada por ese nudo se convierte en incógnita que el programa resuelve.

NOVEDAD DE ESTE PID:

Se puede seleccionar el nudo en el que interesa conocer la intensidad de cortocircuito máxima calculada (o seleccionar el primer botón, como se muestra, para calcularla en todos los



nudos).

03. Definición de las líneas: úsese los números de los nudos definidos en '02' e indíquense los kilómetros de longitud de cada una.
04. Botón para lanzar el cálculo en R. Los resultados se devuelven automáticamente en '05', '06' y '07'.
05. Resultados: el navegador muestra de forma gráfica los resultados de los nudos (tensión y potencia entregada a la red) y de las líneas (potencia que cada nudo entrega a cada extremo e intensidad que sale desde cada uno). Puede hacerse zoom con el ratón y arrastrar y soltar para ver mejor los resultados.
06. Potencias entregadas desde cada nudo hacia todos los demás. La matriz se interpreta así: la potencia que cada nudo de la columna de la izquierda entrega hacia cada nudo de la fila superior es el valor de la intersección entre sus respectivas filas y columnas.
07. Intensidades que salen de cada nudo hacia todos los demás. La matriz se interpreta igual que la matriz de potencias anterior.

NOVEDAD DE ESTE PID:

Aquí se muestran los resultados según la selección hecha en '02': la intensidad de cortocircuito máxima en el nudo seleccionado o la intensidad en todos ellos.

La página muestra además otros datos:

- Potencia perdida total en la red
- Rendimiento total de la red
- Número de iteraciones requeridas por R para converger en la solución

El algoritmo de cálculo se ha derivado del método Newton-Raphson y tiene esta forma:

$$\bar{U}_j^{(m+1)} = \bar{U}_j^{(m)} - \frac{f(\bar{U}_j^{(m)})}{f'(\bar{U}_j^{(m)})} = \bar{U}_j^{(m)} - \frac{\sum_{k=1}^n \bar{Y}_{jk} \bar{U}_k^{(m)} - \left(\frac{\bar{S}_j}{\bar{U}_j^{(m)}}\right)^*}{\bar{Y}_{jj} + \left(\frac{\bar{S}_j}{\bar{U}_j^{(m)2}}\right)^*}$$

El programa funciona bien y resuelve correctamente la red planteada. Las potencias entregadas por los nudos corresponden exactamente con las que transitan por las líneas, y las diferencias son las pérdidas del sistema. Las tensiones caen de forma proporcional a la distancia y a la intensidad, y los factores de potencia se ven afectados como corresponde por la impedancia de las líneas y la potencia reactiva demandada por las cargas.

Además la tabla de intensidades recoge, en la nueva columna /cc, las intensidades de cortocircuito trifásico máximas que cabe esperar en cada nudo de la instalación.