



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

Asunto: Informe de ejecución del
Proyecto Innovación Docente ID2016/193

Título: Plataforma web para resolución de problemas de flujos de carga.

Financiación: 0.00 €

Coordinador: Norberto Redondo Melchor.

Resumen del informe: El grado de cumplimiento de los objetivos propuestos ha sido muy elevado.

Se ha creado una aplicación programada en R que puede correr en un servidor web Linux y que interactúa con cualquier navegador de internet compatible HTML5 para resolver complicados problemas de flujos de carga empleando cálculo factorial 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.

Si la Universidad me facilita un servidor web Linux con acceso a internet, bien una máquina física, bien una virtual, mis alumnos de Sistemas eléctricos de potencia y cualquier otro estudiante de ingeniería eléctrica del mundo podrán resolver este tipo de problemas y aprender a gestionar redes eléctricas reales con la precisión de los sistemas usados día a día.

De momento las pruebas las he hecho con un servidor virtual Linux de Amazon, pero me cuesta dinero en función del tiempo que lo tenga funcionando. Así que si alguien lo quiere probar me tiene que avisar primero para que lo encienda. Lo que muestro en el informe que sigue son simples capturas de pantalla, porque el enlace al servidor desde la web del área no está normalmente activo.

Adjuntamos informe.

Salamanca, 07 de julio de 2017

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



PLATAFORMA WEB PARA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FLUJOS DE POTENCIA

INFORME DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE ID 2016/193

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

ANEJO: INTERFACE WEB



I. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

OBJETIVO ÚNICO:

El alumno de Grado en ingeniería eléctrica debía poder resolver problemas involucrando decenas de ecuaciones simultáneas para llegar a la solución de situaciones de flujo de redes distintas y poder obtener conclusiones de cada restricción impuesta. Y el coste debería ser despreciable, tanto en tiempo como en dinero. Con la aplicación web que hemos creado, mejorando considerablemente la herramienta en Excel que hicimos y probamos con éxito en cursos pasados, se ha conseguido todo ello.

MÉTODO ELEGIDO:

Este proyecto sigue la senda de otros que hicimos cursos anteriores. Entonces usábamos una hoja de cálculo, que dispone de la potencia de cálculo justa para resolver pequeños problemas con números reales, pero no grandes problemas y menos empleando números complejos (fasores). El éxito de aquella herramienta nos motivó a perfeccionarla, sin renunciar a la sencillez que supone usar algo que todos tenemos en nuestro ordenador.

En este caso se ha tratado de mejorar el cálculo permitiendo el uso de fasores, con lo que el procedimiento y el resultado coinciden exactamente con lo que se hace para gestionar los sistemas eléctricos de potencia reales de miles de kilómetros de líneas a múltiples tensiones, con centenares de centrales y decenas de miles de puntos de consumo (el español lo gestiona Red Eléctrica de España).

La herramienta física requerida para resolver ahora estos problemas es cualquier ordenador con un navegador de internet compatible HTML5 (todos los modernos menos el Explorer). Y la aplicación web que hemos programado en R (gratuito) con una interface en javascript (gratuita) llamada openCPU.

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 sobre un servidor virtual Linux de Amazon que se alquila por horas. Lo han usado hasta 5 personas a la vez, cada una para resolver un problema distinto, pero lanzando la petición de cálculo todas al tiempo. El resultado siempre ha sido el correcto y el tiempo de espera apenas ha rozado los 2 segundos. Una maravilla.



II. CALENDARIO SEGUIDO

- Elaboración del material:

- La primera versión, un poco chapucera en cuanto a presentación y carente totalmente de interface gráfica (que al final es lo mejor de este invento) la pudimos probar a primeros del segundo cuatrimestre, hacia finales de febrero. Ya no tenía yo clases de Sistemas de potencia, luego los alumnos que me ayudaron en las pruebas eran de otra asignatura, pero salió todo tan bien que decidimos contar con el desarrollo de este proyecto de innovación docente.

- A finales de mayo ya teníamos la interface gráfica definida y funcionaba aproximadamente bien. Quedaban pequeños problemillas que, a la larga, nos dieron casi tanto trabajo como todo el proyecto junto.

- A finales de junio lo hemos dado por rematado porque por fin funciona todo perfectamente. Supongo que seguiré haciendo alguna mejora estética de aquí a principios de curso, pero no me preocupa porque no es imprescindible.

- Comenzaré a usar esta nueva herramienta con los alumnos en clase hacia finales de octubre. Y desde luego que será con la que tengan que resolver los problemas del examen.

- Manual de instrucciones:

- No nos ha dado tiempo todavía, porque el proyecto ha resultado bastante más difícil de hacer de lo que parecía al solicitar el PID el año pasado.

- Tampoco hace mucha falta, pues todo el que necesite resolver problemas de flujos de carga en Sistemas eléctricos de potencia sabe qué problemas son, qué datos hacen falta, e identifica enseguida dónde hay que meter cada uno, pero pondré sin duda una explicación en alguna página web de instrucciones.

- Memoria de las actividades realizadas:

- Esta memoria, antes del 10 de julio de 2017.



III. OPINIÓN PERSONAL DE LOS DOCENTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

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

Desgraciadamente no podemos ofrecer de momento un enlace web activo al que lea estas páginas para que lo compruebe por sí mismo porque, como ya he dicho, lo único que he podido usar es una máquina virtual de Amazon y es de pago por horas (la tengo normalmente desactivada).

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 (hoja de cálculo, cálculos con números reales) ha sido enormemente favorable. Ya es el tercer curso en que los alumnos han usado nuestra herramienta de cálculo (la antigua) con seguridad y comodidad, incluso en los exámenes, y ninguno ha interpretado mal los resultados.

Habrà que ensayar el curso que viene con la nueva herramienta y los cálculos fasoriales, pero espero que todo vaya igual de bien que hasta ahora. Incluso puede ir mejor, porque la aplicación web es más estable y robusta que la hoja de cálculo que usábamos hasta ahora.



Alumnos de Sistemas eléctricos de potencia haciendo el examen parcial del curso 2015-2016. Usan su propio ordenador con hojas de cálculo y otros programas para resolver los problemas.



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 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 fasorial completo.

Y debo terminar con una pregunta:

¿Es Vd. quizá, quien lee esto, competente para ayudarme a habilitar permanentemente esta herramienta docente? Necesito un servidor de internet en Linux al que subir mi página web y la aplicación que hemos programado. ¿A quién se lo debo pedir? ¿Quién lo debe pagar? Abajo tiene mi email y teléfono por si me puede ayudar. Muchas gracias.

Béjar, 10 de julio de 2017

Dr. Ing. Norberto Redondo Melchor
Coordinador del proyecto
Profesor asociado 6h
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
ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Resolución de problemas de flujos de carga

© Nor 2016-2017. Colaboración especial: Lucía Redondo Cortés

Tensión nominal red V: 45000
 Tolerancia %: 0.5

Valores aceptables: Máx: 45225 V, Min: 44775 V

Impedancia serie: 10+0i Ω/km

Semi imp. paralelo: 0+55000000i Ω/km

Porcentaje de carga: 100 %

[Ver datos](#)

**R
resuelve!**

04

Pérdidas 107.5159 kW
 Rendimiento 99.7775 %

Tensión (V)
Carga (kVA)
Longitud (km)
Potencia (kVA)
Intensidad (A)

Haga zoom o arrastre para ver mejor los resultados

01

Elementos de la red

Nudo	Load (MVA)	Genr (MVA)	Tensión de nudo U (V)	Intensidad fs. nudo I (A)	Potencia fs. nudo S (kVA)	Añadir nudo
1	0	0	55 000	400.3 L142.1°	30108+23400i	<input type="checkbox"/>
2	4+2i	0	54984+111i	47.0 L-26.6°	-4000-2000i	<input type="checkbox"/>
3	5+3i	0	54938+47i	61.3 L-30.9°	-5000-3000i	<input type="checkbox"/>
4	6+4i	0	54877+ 96i	75.9 L-33.6°	-6000-4000i	<input type="checkbox"/>
5	7+5i	0	54870+103i	90.5 L-35.4°	-7000-5000i	<input type="checkbox"/>
6	8+6i	0	54797+160i	105.4 L-36.7°	-8000-6000i	<input type="checkbox"/>

INI	FIN	km	Añadir línea
1	2	10	<input type="checkbox"/>
2	3	50	<input type="checkbox"/>
3	4	50	<input type="checkbox"/>
4	5	50	<input type="checkbox"/>
5	6	50	<input type="checkbox"/>
1	5	50	<input type="checkbox"/>
1	3	50	<input type="checkbox"/>

02

Pérdidas en la red (kW): 107.5159
 Rendimiento de la red (%): 99.7775
 Potencias entregadas a las líneas

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
[1]	----	8994+6333i	6792+5479i	0+0i	14321+11588i	0+0i
[2]	-8990-6223i	----	4990+4223i	0+0i	0+0i	0+0i
[3]	-6780-4929i	-4984-3674i	----	6763+5603i	0+0i	0+0i
[4]	0+0i	0+0i	-6751-5055i	----	751+1055i	0+0i
[5]	-14266-11040i	0+0i	0+0i	-750.9-507.1i	----	8017+6547i
[6]	0+0i	0+0i	0+0i	0+0i	-8000-6000i	----

03

Intensidades de las líneas

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
[1]	----	115.5 L-35.1°	91.6 L-38.9°	0.0 L0.0°	193.4 L-39.0°	0.0 L0.0°
[2]	114.8 L145.3°	----	68.6 L-40.2°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°
[3]	88.1 L144.0°	65.1 L143.7°	----	92.3 L-39.6°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°
[4]	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	88.7 L143.3°	----	13.6 L-54.4°	0.0 L0.0°
[5]	189.8 L142.4°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	9.5 L146.1°	----	108.9 L-39.1°
[6]	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	0.0 L0.0°	105.4 L143.3°	----

06

Iteraciones efectuadas: 19

07



01. 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.
02. 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.
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.

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.



RESULTADOS DEL EJEMPLO

