

# **Simulador interactivo de líneas eléctricas en régimen estacionario sinusoidal para uso docente**

**SOLICITUD DE REGISTRO DE PROGRAMA DE ORDENADOR**

octubre de 2021

*MEMORIA DE LA APLICACIÓN*

**Solicitante:** Universidad de León (representante: Carlos Gaspar Polanco de la Puente, Vicerrector de Investigación)

**Autores:** Miguel de Simón Martín, Alberto González Martínez, Ana María Diez Suárez, Álvaro de la Puente Gil y Jorge Blanes Peiró.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA OBRA**

### **Introducción y contextualización**

Se presenta un programa de ordenador concebido como herramienta de apoyo al alumno para mejorar su comprensión del comportamiento eléctrico de las líneas de transporte de energía eléctrica. Igualmente, el aplicativo presentado constituye una herramienta de apoyo al docente para ilustrar la exposición de la teoría relacionada con el cálculo y operación de las líneas de transporte y distribución eléctrica.

La comprensión del funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica en general, y de las líneas eléctricas en particular, es una competencia que debe ser adquirida por los estudiantes de las titulaciones de Ingeniería en asignaturas relacionadas con el Área de Ingeniería Eléctrica.

El programa replica digitalmente, de forma fidedigna, el modelo de línea eléctrica de ensayo dispuesto en los laboratorios del Área de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de León, utilizado habitualmente en las prácticas de diversas asignaturas impartidas por los docentes del área, entre las que destacan:

- Líneas Eléctricas (3º Grado en Ingeniería de la Energía).
- Líneas y Subestaciones Eléctricas (3º Grado en Ingeniería Eléctrica).
- Subestaciones y Aparatación Eléctrica (4º Grado en Ingeniería de la Energía).
- Ingeniería Eléctrica (1º Máster Universitario en Ingeniería Minera y de Recursos Energéticos).
- Sistemas Eléctricos (1º Máster Universitario en Ingeniería Industrial).

La concepción original de este simulador digital interactivo se debió a la necesidad de facilitar a los alumnos la realización de prácticas en las asignaturas antes reseñadas, durante el período de confinamiento por COVID-19, que tuvo lugar entre marzo y septiembre de 2020. El éxito obtenido en la utilización del aplicativo condujo a incorporarlo de forma ordinaria en la realización de las prácticas, como herramienta de apoyo a las mismas. Con ella, el alumno puede simular con antelación el comportamiento esperado del dispositivo físico ubicado en el laboratorio, lo que evita errores habituales (como la operación incorrecta del dispositivo fuera de sus márgenes recomendados, preconfigurar la carga eléctrica del sistema, probar distintas opciones de conexionado de elementos, etc.) a la vez que permite mejorar su comprensión sobre el propio dispositivo y las prácticas que se realizarán en el laboratorio. Mediante el correcto manejo del simulador, el estudiante es capaz de determinar las relaciones entre las magnitudes eléctricas

existentes en los extremos de la línea en función de los distintos estados de operación, interpretarlas y diseñar los sistemas de compensación más adecuados.

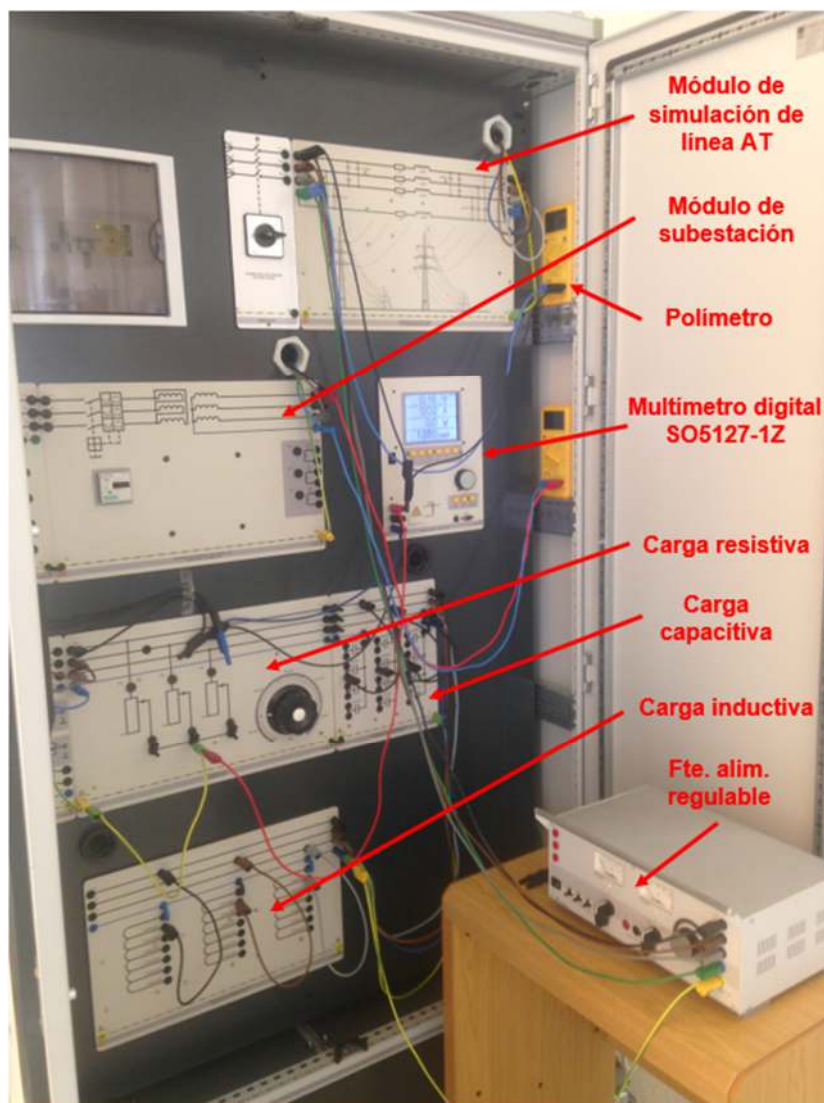
Finalmente, debe destacarse la posibilidad de la aplicación de mostrar los diagramas fasoriales de las distintas magnitudes eléctricas en los extremos de la línea, lo que resulta de gran utilidad tanto para comprender el funcionamiento del dispositivo, como para comprender el significado de las medidas tomadas en el equipo físico (valores eficaces o RMS). La visualización del comportamiento de la línea mediante herramientas gráficas permite al alumno comprender mucho más fácilmente y de forma atractiva efectos que exigen un conocimiento profundo de esta tecnología, a la vez que permite al docente ilustrar de forma efectiva el resultado del modelo matemático del dispositivo.

### **Sistema simulado**

Una línea de transmisión de energía eléctrica está caracterizada por cuatro parámetros eléctricos (agrupados en parámetros longitudinales y transversales) que caracterizan los fenómenos físicos que aparecen en la misma. Estos parámetros (y los fenómenos asociados) se consideran uniformemente distribuidos a lo largo de su longitud. Para su análisis, puede recurrirse a distintos tipos de modelos, cuya adecuación dependerá de la aplicación del análisis y el nivel de detalle deseado. Mediante los parámetros de la línea, y los modelos correspondientes se puede calcular la tensión y la intensidad en un punto cualquiera de la línea, siendo de particular interés los extremos de la misma.

Cuando las líneas eléctricas presentan una longitud inferior a los 200 km, suele ser válida una simplificación del modelo de ecuaciones diferenciales (que caracteriza la distribución de los parámetros longitudinales y transversales de la línea a lo largo de toda su extensión) de forma que el sistema puede modelizarse como un conjunto de conductores ideales y elementos concentrados (impedancias), interconectados entre sí según diferentes configuraciones. Una de estas configuraciones típicas, válida para longitudes de línea intermedias (entre 50 y 200 km aproximadamente) es la disposición en Pi, de forma que los parámetros longitudinales (resistencia e inductancia) se concentran en una impedancia ideal ubicada en el punto medio de la línea, y los parámetros transversales (conductancia a tierra y capacidad) se concentran en sendos extremos mediante admitancias ideales de valor igual a la mitad de la admitancia transversal total. Los modelos de parámetros concentrados, como el expuesto, permiten replicar el comportamiento de una línea real en muy poco espacio (el que precisan sus elementos concentrados).

En el laboratorio del Área de Ingeniería Eléctrica (Laboratorio de Sistemas Eléctricos y Redes Inteligentes) se dispone de un equipo de simulación de líneas de transporte y distribución que adopta el modelo en Pi para la simulación de dos líneas eléctricas, una de 150 km y otra de 300 km de longitud. El modelo de línea es alimentado mediante una fuente regulable de tensión, y a su vez se interconecta con una serie de módulos que simulan una red de distribución de energía eléctrica (módulo de subestación de transformación, módulo de cargas resistivas, módulo de cargas inductivas y módulo de cargas capacitivas). Todos estos equipos se encuentran integrados en un armario móvil (tal y como puede apreciarse en la Figura 1) con objeto de facilitar la realización de prácticas docentes o ensayos de líneas. Todos los elementos disponen de bornes o tomas accesibles para implementar distintos esquemas de conexionado y/o medida de parámetros eléctricos.



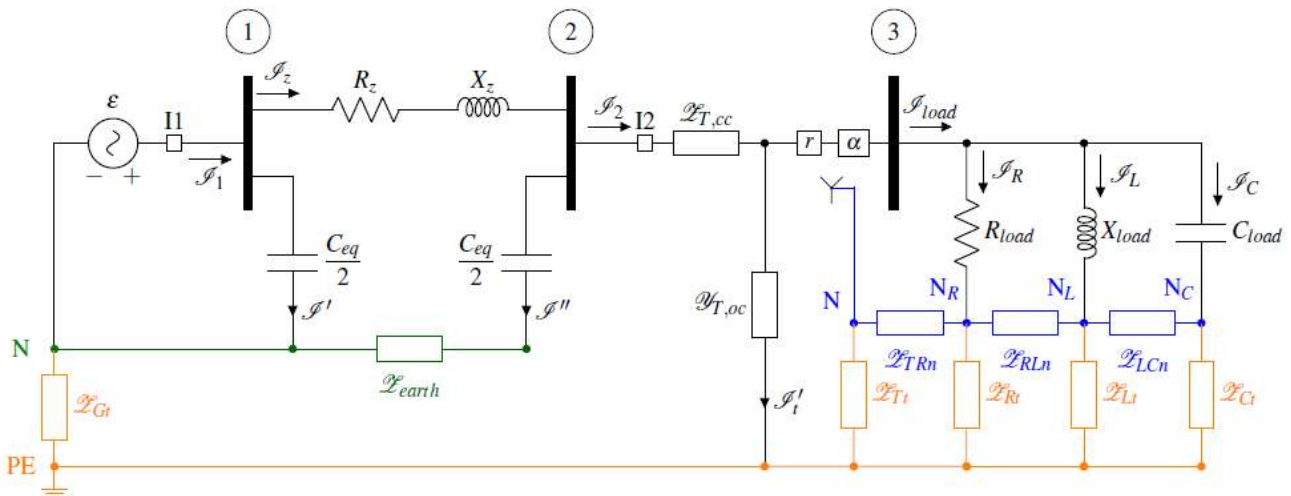
**Figura 1.** Equipo de simulación de red de transporte y distribución del Laboratorio de Sistemas Eléctricos y Redes Inteligentes de la Universidad de León.

## Descripción del programa y funcionalidades del aplicativo

El programa de ordenador que se presenta constituye un “gemelo digital” del equipo presentado anteriormente, aunque puede aplicarse a cualquier red de transporte y distribución o línea eléctrica en la que sean de aplicación las hipótesis adoptadas (simplemente introduciendo los valores adecuados para los parámetros).

La aplicación se ha desarrollado bajo en entorno de una hoja de cálculo (inicialmente implementada en Microsoft Excel®) que incorpora todas las fórmulas de cálculo que permiten representar los diagramas fasoriales de las magnitudes eléctricas (complejas) de interés para el análisis de la línea.

En base los parámetros de entrada, los propios del análisis de una línea eléctrica, y mediante la implementación de un modelo en PI nominal (véase la Figura 2), se obtienen los resultados que definen el funcionamiento de la línea, para diferentes regímenes de carga. A partir de los resultados obtenidos se cuantifica el comportamiento de la línea, tanto de forma numérica como de forma gráfica, mostrándose las figuras de comportamiento de la línea, en modo de diagramas fasoriales dinámicos en función de las condiciones de operación de la línea.



**Figura 2.** Modelo completo (monofásico equivalente) del sistema simulado.

El aplicativo se divide en tres pestañas o páginas, que se describen a continuación:

- a) **SIMULADOR:** Constituye propiamente el simulador de la red de transporte y distribución a analizar. Se divide a su vez en tres partes:
  - **Parámetros del sistema (Figura 3):** en esta parte deben introducirse tanto los parámetros constitutivos del sistema (longitud de la línea, sección de fase,

resistividad, etc.), que son fijos durante toda la simulación, así como los de operación (tensión de alimentación y carga de la línea), que pueden variar. Se estructura en cuatro partes correspondientes a los elementos del equipo:

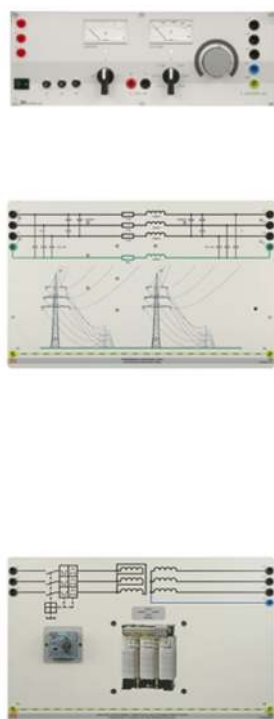
- i. Generador / fuente de alimentación.
  - ii. Línea de transporte.
  - iii. Transformador de distribución.
  - iv. Carga.
- **Diagramas fasoriales (Figura 4):** en esta parte se muestran los diagramas fasoriales que relacionan las distintas magnitudes eléctricas del sistema. Concretamente se muestran los siguientes diagramas:
    - i. Diagrama fasorial de tensiones en la línea.
    - ii. Diagrama fasorial de tensiones en la carga (referidas al primario del transformador).
    - iii. Diagrama fasorial de corrientes en la línea.
    - iv. Diagrama fasorial de potencia aparentes.
    - v. Diagrama fasorial de potencias activas y reactivas.
  - **Resultados numéricos (Figura 5):** en esta parte se muestran los resultados numéricos (complejos) de todas las variables eléctricas en cada uno de los elementos del sistema<sup>1</sup>:
    - i. Generador / fuente de alimentación.
    - ii. Línea de transporte.
    - iii. Transformador de distribución.
    - iv. Carga.
- b) **CARGAS:** Esta parte del aplicativo permite configurar una carga eléctrica compleja considerando la combinación de cargas resistivas, inductivas y capacitivas trifásicas, equilibradas o desequilibradas (inductiva y capacitiva) en paralelo. La principal característica de esta parte del aplicativo es que, no sólo permite determinar la carga equivalente a la asociación escogida, sino que también calcula los límites de operación admisibles de la misma (corriente y tensión máximos admisibles). Así, se estructura en cuatro partes, según el tipo de carga (véase la Figura 6):
- Cargas resistivas.
  - Cargas inductivas.
  - Cargas capacitivas.
  - Carga total equivalente (en estrella).

---

<sup>1</sup> El aplicativo muestra alertas al usuario cuando los valores exceden los límites recomendados de operación.

Igualmente, en la parte inferior, se muestran cuatro gráficos dinámicos que permiten configurar cargas con un determinado factor de potencia (fdp) en función de sus componentes resistiva, inductiva o capacitiva y su conexionado (en estrella o en triángulo). Para más detalle, véase la Figura 7.

- c) **ENSAYOS:** Esta última parte del aplicativo permite analizar la estabilidad estática de una línea eléctrica considerando tensión constante en el extremo emisor. Se compone de tres tablas para la toma y recogida de datos en el equipo físico, que se plotean automáticamente en los gráficos ubicados en la parte derecha de esta pestaña. Estos gráficos muestran la relación entre la potencia activa específica en el extremo receptor de la línea respecto de la relación de los módulos de las tensiones de los extremos de la línea (gráfico 1) y la evolución de la tensión de la línea en el extremo receptor respecto de la potencia activa transmitida por la línea (gráfico 2). Mediante la toma de diferentes puntos, puede estimarse el punto de silla que cuantifica el límite estático (potencia activa máxima transmisible) en función de la tensión en el extremo receptor de la línea, considerando constante la tensión en el extremo emisor. Véase un ejemplo en la Figura 8.



Generador / Fuente de alimentación		
Tensión de fase	100	V
Tensión de línea	173	V
Frecuencia	50	Hz

Parámetros de la línea		
Longitud	150	km
Sección por fase	100	mm <sup>2</sup>
Resistividad por fase	0	10 <sup>-6</sup> Ohm·m
Inductancia unitaria por fase	0.767	mH·km <sup>-1</sup>
Impedancia serie total	36.1440234795506i	Ohm
Admitancia serie total	-0.0276670913675611i	S
Conductancia unitaria por fase	0.00	S·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria fase-fase	1.00	nF·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria fase-tierra	3.67	nF·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria equivalente	0.006670	μF·km <sup>-1</sup>
Impedancia paralelo total	-3181.50810778401i	Ohm
Admitancia paralelo total	0.000314316344991659i	S
Impedancia equivalente línea	36.3505063029153i	Ohm
Impedancia carac. de la línea	339.10544635574	Ohm
Admitancia carac. de la línea	0.00294893523753949	S
Cte. de propagación	6.52920721209802E-18+0.106586384465302i	m <sup>-1</sup>

Transformador		
Primario (N1)	29	D
Secundario (N2)	50	yn
Grupo de conexión y rel. de transf. (-)	Dyn	1.005
Índice horario y desfase (deg.)	S	-150
Resistencia CC	0.00	Ohm
Inductancia CC	0.00	mH
Impedancia serie equivalente	0	Ohm
Resistencia OC	1.00E+100	Ohm
Inductancia OC	0.00	mH
Impedancia magnetización equivalente	1E+100	Ohm
Admitancia magnetización equivalente	1E-100	S

Carga		
Resistencia eq. Y por fase	200	Ohm
Inductancia eq. Y por fase	30000	mH
Capacidad eq. Y por fase	0.47	μF
Impedancia equivalente por fase	199.909977264363+4.24222147400157i	Ohm

Figura 3. Introducción de parámetros del sistema en el simulador.

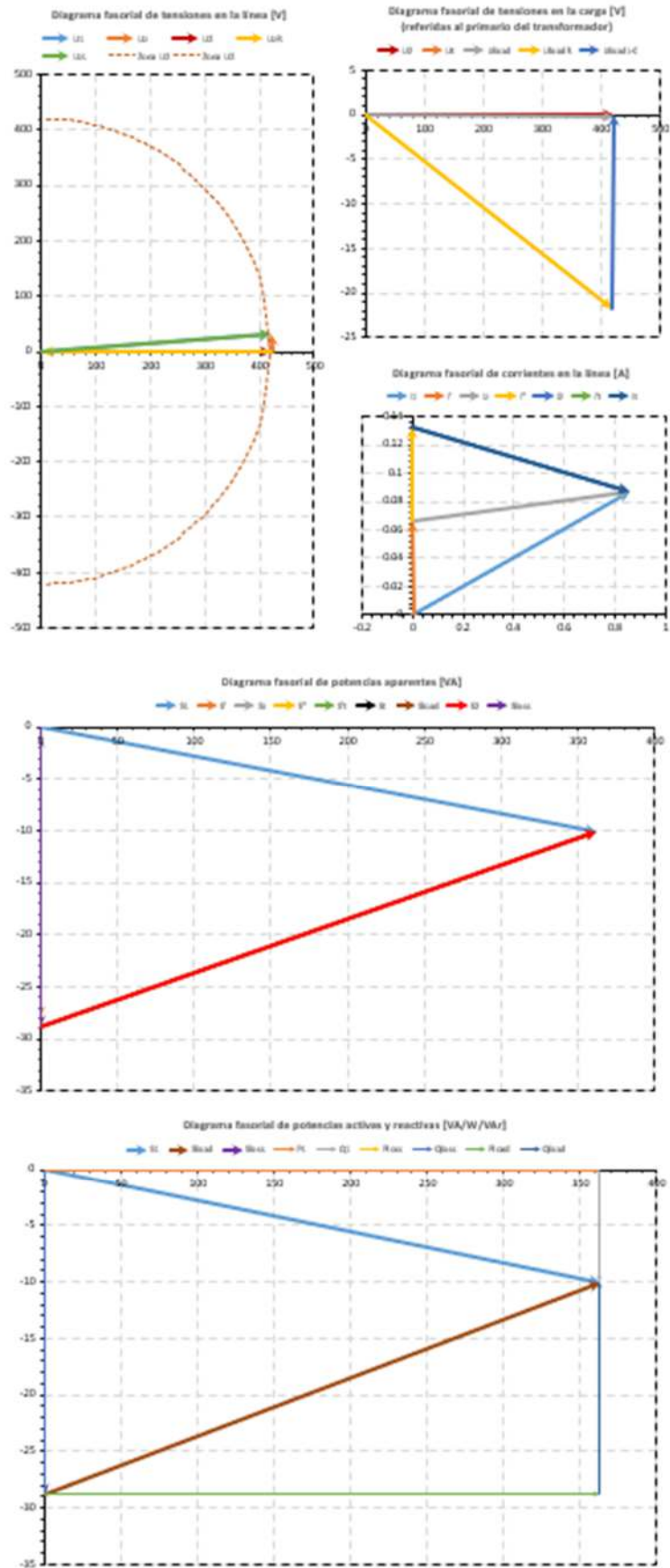


Figura 4. Diagramas fasoriales de las magnitudes eléctricas del sistema.



Cabecera de la línea				
Valores eficaces		Ángulos de fase		Magnitudes complejas
U <sub>lf</sub>	75.00 V	0.000	rad	75
U <sub>ll</sub>	129.90 V	2.618	rad	-112.5+64.9519052838329i
I <sub>l</sub>	0.661 A	-0.286	rad	0.6342860825431i-0.186801301628259i
P <sub>lf</sub>	47.571 W	cosPhi <sub>l</sub>	0.959	47.5714561907333
Q <sub>lf</sub>	14.010 VA			14.0100976221194i
S <sub>lf</sub>	49.592 VA	0.286	rad	47.5714561907333+14.0100976221194i
Línea de transporte				
Valores eficaces		Ángulos de fase		Magnitudes complejas
I'	0.018 A	1.571	rad	0.0182722882714416i
I <sub>z</sub>	0.667 A	-0.313	rad	0.6342860825431i-0.205073589899701i
Delta I	24.213 V	1.159	rad	9.695582687862i+22.187396436581i
I''	0.017 A	1.243	rad	0.00540552671575952+0.0159101485136787i
P <sub>z</sub>	1.600 W	cosPhi <sub>z</sub>	0.0991098	1.59972412327935
Q <sub>z</sub>	16.061 VA			16.0614647155592i
S <sub>z</sub>	16.141 VA	1.472	rad	1.59972412327935+16.0614647155592i
P'	0.000 W	cosPhi'	6.126E-17	8.39484965377559E-17
Q'	-1.370 VA			-1.37042162035812i
S'	1.370 VA	-1.571	rad	-1.37042162035812i
P''	0.000 W	cosPhi''	5.053E-16	5.85665184352634E-16
Q''	-1.159 VA			-1.15893754222645i
S''	1.159 VA	-1.571	rad	6.66133814775094E-16-1.15893754222645i
P <sub>loss</sub>	1.600 W	cosPhi <sub>l</sub>	0.117	1.59972412327935
Q <sub>loss</sub>	13.532 VA			13.5321055529746i
S <sub>loss</sub>	13.626 VA	1.453	rad	1.59972412327935+13.5321055529746i
Cola de la línea				
Valores eficaces		Ángulos de fase		Magnitudes complejas
U <sub>2f</sub>	68.97 V	-0.328	rad	65.3044173121379-22.187396436581i
U <sub>2l</sub>	119.46 V	2.290	rad	-78.7417770102914+89.8363790265232i
I <sub>2</sub>	0.667 A	-0.338	rad	0.62888055582735-0.22098373841338i
P <sub>2f</sub>	45.972 W	cosPhi <sub>2</sub>	1.000	45.9717320674539
Q <sub>2f</sub>	38.685 VA			38.6846269734366i
S <sub>2f</sub>	45.974 VA	0.010	rad	45.9717320674539+0.47799206914486i
Transformador				
Valores eficaces		Ángulos de fase		Magnitudes complejas
I' <sub>t</sub>	0.115 A	-0.328	rad	0.10884069552023-0.0369789940609684i
I <sub>t</sub>	0.552 A	-0.340	rad	0.52003986030712-0.184004744352412i
Delta I <sub>t</sub>	0.867 V	1.218	rad	0.299434773747746+0.813196607470309i
P' <sub>t</sub>	7.928 W	cosPhi' <sub>T</sub>	1.000	7.92824580185312
Q' <sub>t</sub>	0.000 VA			4.44089209850063E-16i
S' <sub>t</sub>	7.928 VA	0.000	rad	7.92824580185312+4.44089209850063E-16i
P <sub>t</sub>	0.006 W	cosPhi <sub>T</sub>	0.013	0.00608598404504899
Q <sub>t</sub>	0.478 VA			0.47799206914476i
S <sub>t</sub>	0.478 VA	1.558	rad	0.00608598404504901+0.47799206914476i
P <sub>loss<sub>t</sub></sub>	7.934 W	cosPhi <sub>l</sub>	0.998	7.93433178589817
Q <sub>loss<sub>t</sub></sub>	0.478 VA			0.47799206914476i
S <sub>loss<sub>t</sub></sub>	7.949 VA	0.060	rad	7.93433178589817+0.47799206914476i
Carga				
Valores eficaces		Ángulos de fase		Magnitudes complejas
U <sub>load<sub>f</sub></sub>	70.012 V	-2.958	rad	-68.8362661606656-12.776424263464i
U <sub>load<sub>l</sub></sub>	121.264 V	-0.340	rad	114.319107222686-40.4493188016075i
I <sub>load</sub>	0.543 A	-2.958	rad	-0.534175777080689-0.0991462311932922i
I <sub>R</sub>	0.560 A	-2.958	rad	-0.550690129285325-0.102211394107712i
I <sub>L</sub>	0.000 A	0.000	rad	0
I <sub>C</sub>	0.000 A	0.000	rad	0
P <sub>R</sub>	39.213 W	cosPhi <sub>R</sub>	1.000	39.2133484472162
Q <sub>R</sub>	0.000 VA			2.66453525910038E-15i
S <sub>R</sub>	39.213 VA	0.000	rad	39.2133484472162+2.66453525910038E-15i
P <sub>L</sub>	0.000 W	cosPhi <sub>L</sub>	1.000	0
Q <sub>L</sub>	0.000 VA			0
S <sub>L</sub>	0.000 VA	0.000	rad	0
P <sub>C</sub>	0.000 W	cosPhi <sub>C</sub>	1.000	0
Q <sub>C</sub>	0.000 VA			0
S <sub>C</sub>	0.000 VA	0.000	rad	0
P <sub>load</sub>	38.037 W	cosPhi <sub>l</sub>	1.000	38.0374002815557
Q <sub>load</sub>	0.000 VA			1.03028696685215E-13i
S <sub>load</sub>	38.037 VA	0.000	rad	38.0374002815557+1.03028696685215E-13i

Figura 5. Resultados numéricos de las distintas variables, tanto en valor eficaz (para comparar con las medidas tomadas en campo) como en valor complejo.

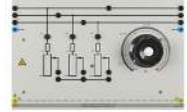
## CONFIGURACIÓN DE CARGAS

### CARGAS RESISTIVAS

Resistencia conectada	Rango [Ohm]	Impedancia [Ohm]	Intensidad máxima [A]
125.00 [Ohm]	[0-5.000]	125	0.60

Configuración	Estrella
---------------	----------

Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
0.008 [S]	125 [Ohm]	75.000	129.904	0.600
		75.000	129.904	0.600

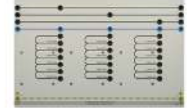


### CARGAS INDUCTIVAS

Inductancia conectada	Rango [mH]	Impedancia [Ohm]	Intensidad máxima [A]
0.000 [mH]	[1-3.2]	0.000 [Ohm]	0.60

Configuración	Estrella
---------------	----------

Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
-5.208709333333333E-003 [S]	0.000 [Ohm]	75.000	129.904	0.600
		75.000	129.904	0.600

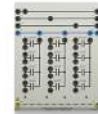


### CARGAS CAPACITIVAS

Capacidad conectada	Rango [µF]	Impedancia [Ohm]	Tensión máxima [V]
0.000 [µF]	[4-16]	0.000 [Ohm]	0.60

Configuración	Estrella
---------------	----------

Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
1.111111111111111E-100 [S]	0.000 [Ohm]	75.000	129.904	0.600
		75.000	129.904	0.600

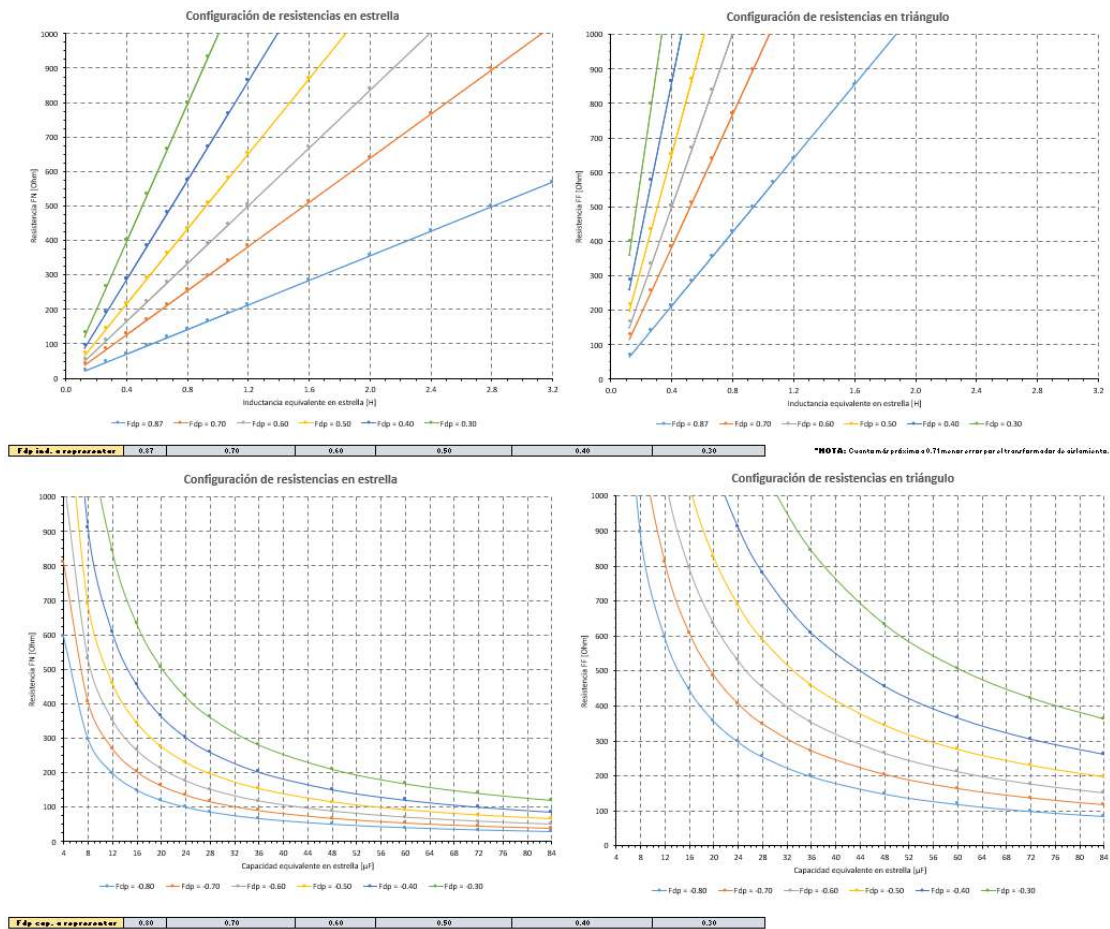


### CARGA TOTAL EQUIVALENTE (EN ESTRELLA)

Admitancia por fase	Impedancia por fase	Tensión de fase máxima [V]	Tensión de línea máxima [V]	Intensidad máxima [A]
0.008-3.53677651315223E-103 [S]	125 [Ohm]	75.000	129.904	0.600

Resistencia	125.000 [Ohm]
Inductancia	0.000 [mH]
Capacidad	0.000 [µF]
Fdp	1.000 [CAP]

**Figura 6. Configurador de cargas eléctricas.**



**Figura 7. Gráficas de configuración de cargas con factor de potencia constante.**



El aplicativo presentado constituye una potente herramienta, altamente configurable para realizar ensayos análogos a los que se realizarían con el equipo real, lo que mejora la capacitación del alumno que lo emplee. Además, su alta configurabilidad le permitiría modelizar fácilmente otros sistemas análogos.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA, LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN Y ENTORNO OPERATIVO**

El programa de ordenador que se presenta es un gemelo digital de un sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica trifásico en corriente alterna, representado mediante su equivalente monofásico, al suponer condiciones de operación equilibradas y estacionarias.

El aplicativo se ha desarrollado en un entorno de programación de libro de cálculo y lenguaje Visual Basic (VBA). En este caso, **el ejecutable es un fichero tipo \*.xlsx que embebe todo el código fuente del aplicativo que precisa para su ejecución disponer de un entorno de ejecución de hojas de cálculo compatible**. El entorno operativo en el que se puede ejecutar el aplicativo es cualquiera que admita las aplicaciones de ejecución de hojas de cálculo, preferentemente Microsoft Windows® y la aplicación Microsoft Excel® contenida en el paquete de ofimática Microsoft Office<sup>2</sup>. La ejecución del aplicativo sería compatible con cualquier otro entorno análogo, como por ejemplo, distribuciones de SO Linux y aplicaciones de hoja de cálculo (Open Office® o similar).

Tal y como se ha descrito, el aplicativo **consta de una serie de hojas de cálculo, incluidas dentro de un libro de cálculo que constituye el aplicativo, y en las que se embeben todas las fórmulas y líneas de código que permiten la correcta ejecución del aplicativo**. Las hojas y elementos que componen el aplicativo se relacionan tal y como se muestra en la Figura 9. Así, el aplicativo que se desea registrar consta de **4 hojas de cálculo** interrelacionadas entre sí, que corresponden a las partes descritas en la sección anterior de esta memoria y nombradas como **“SIMULADOR”, “CARGAS” y “ENSAYOS”** y una hoja de cálculo adicional (**“Diagramas”**) que permanece oculta en el aplicativo y que contiene operaciones auxiliares para la representación de los diagramas fasoriales (concretamente el cálculo de las coordenadas cartesianas de los puntos extremos de los distintos fasores).

El código fuente del conjunto del aplicativo:

- **CODIGO\_FUENTE.xlsx**

---

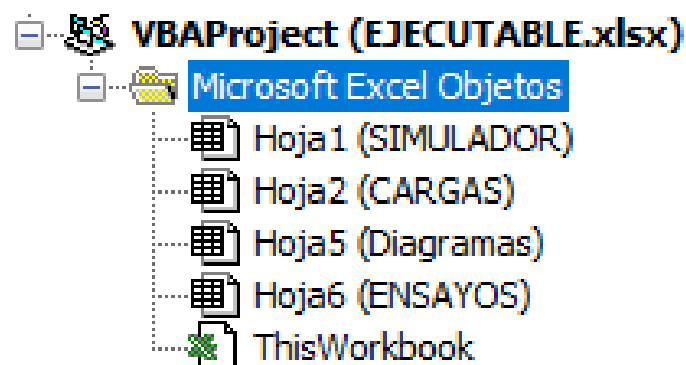
<sup>2</sup> El aplicativo se ha desarrollado y testado con Microsoft Excel 2019 Profesional, ejecutado en Microsoft Windows 10 Pro (64 bits).

- CODIGO\_FUENTE\_01\_SIMULADOR.pdf
- CODIGO\_FUENTE\_02\_CARGAS.pdf
- CODIGO\_FUENTE\_03\_ENSAYOS.pdf
- CODIGO\_FUENTE\_04\_Diagramas.pdf

se incluye dentro del CD de documentación aportada en la solicitud. Así mismo se incluye el ejecutable del aplicativo:

- EJECUTABLE.xlsx
- EJECUTABLE\_01\_SIMULADOR.pdf
- EJECUTABLE\_02\_CARGAS.pdf
- EJECUTABLE\_03\_ENSAYOS.pdf

Finalmente, la Figura 10 muestra un diagrama de flujo de funcionamiento del aplicativo.



*Figura 9. Árbol jerárquico de elementos del aplicativo.*

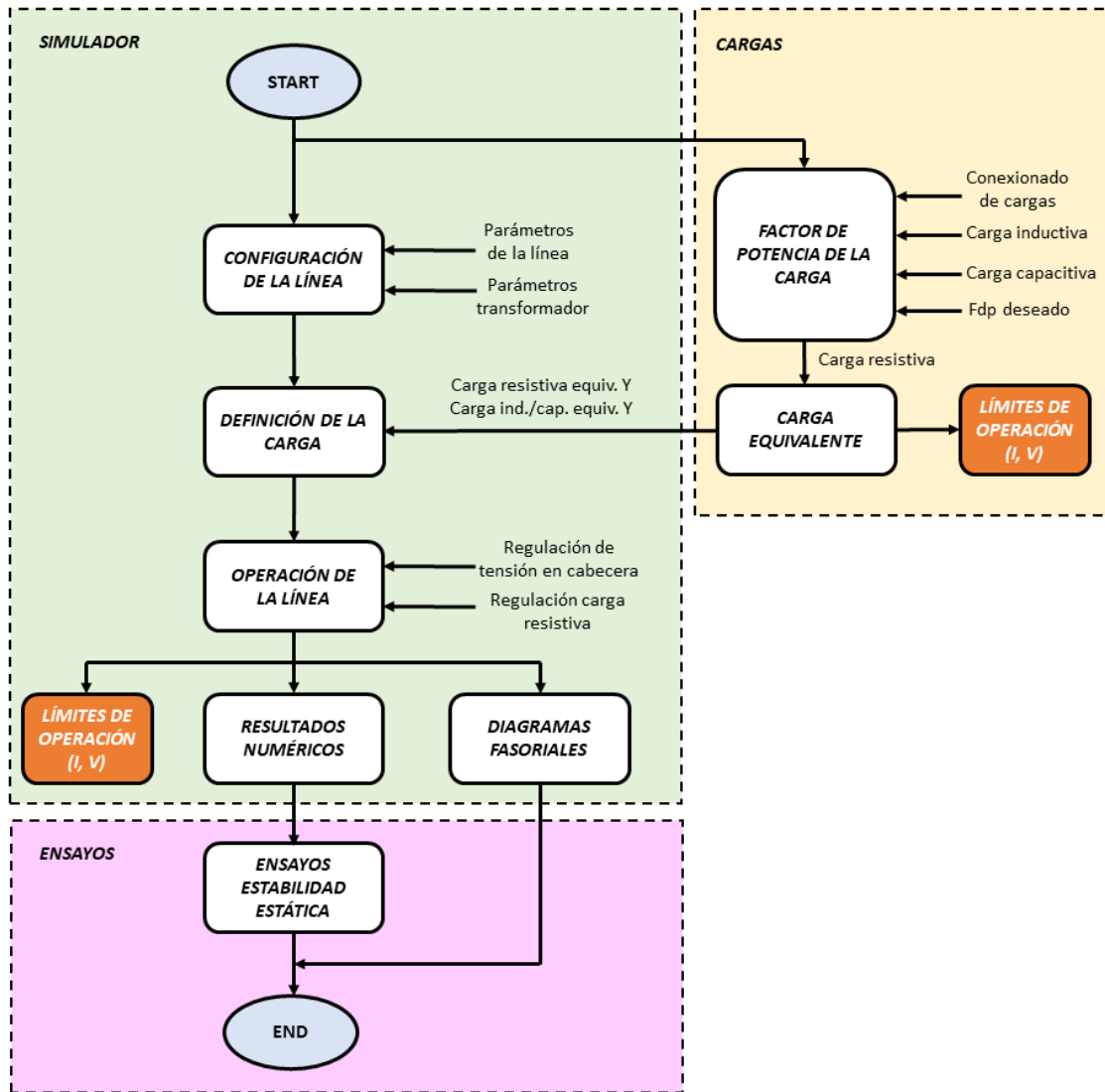


Figura 10. Diagrama de flujo de funcionamiento del aplicativo.

## **ANEXOS**

Se incluyen como anexos los siguientes:


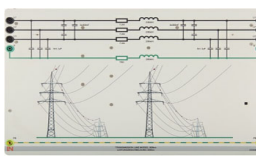
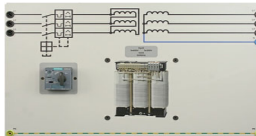
- Visualizaciones del ejecutable.
  - Página del simulador.
  - Página del configurador de cargas.
  - Página de ensayos.
- Código fuente.
  - Código fuente de la página del simulador.
  - Código fuente de la página del configurador de cargas.
  - Código fuente de la página de ensayos.
  - Código fuente de la página auxiliar para la representación de los diagramas fasoriales.

Para facilitar su lectura, los anexos se incluyen en formato A3.



# SIMULADOR DE OPERACIÓN DE LÍNEA TRIFÁSICA EQUILIBRADA MEDIANTE MODELO EN PI

MdSM

Generador / Fuente de alimentación	
Tensión de fase	75 V
Tensión de línea	130 V
Frecuencia	50 Hz

Parámetros de la línea	
Longitud	150 km
Sección por fase	1194.6 mm <sup>2</sup>
Resistividad por fase	0.02867 10 <sup>-6</sup> Ohm·m
Inductancia unitaria por fase	0.767 mH·km <sup>-1</sup>
Impedancia serie total	3.59994977398292+36.1440234795506i Ohm
Admitancia serie total	0.00272857814714669-0.0273953246039723i S
Condutancia unitaria por fase	0.00 S·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria fase-fase	1.00 nF·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria fase-tierra	7.34 nF·km <sup>-1</sup>
Capacidad unitaria equivalente	0.010340 µF·km <sup>-1</sup>
Impedancia paralelo total	-2052.28811208118i Ohm
Admitancia paralelo total	0.000487261020571776i S
Impedancia equivalente línea	3.66419506854075+36.4618853613006i Ohm
Impedancia carac. de la línea	272.692978484297-13.5466159897108i Ohm
Admitancia carac. de la línea	0.00365810025354847+0.000181724075413033i S
Cte. de propagación	0.0060073793244041+0.132872658999016i m <sup>-1</sup>

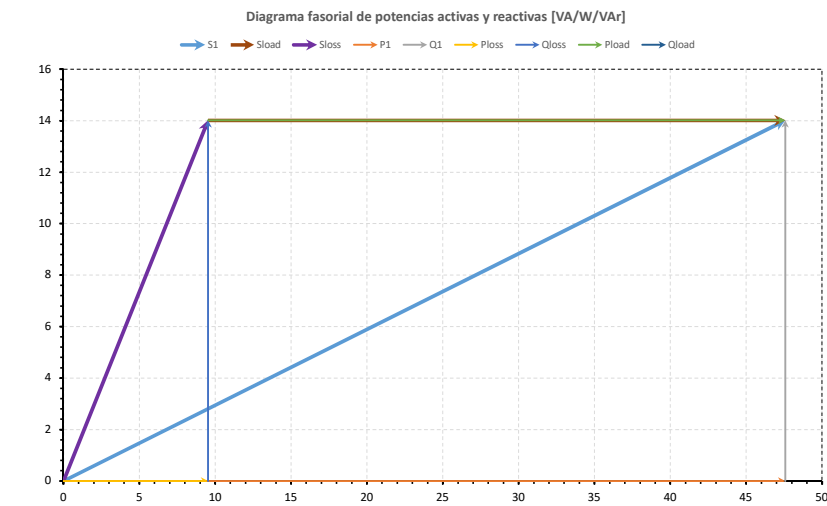
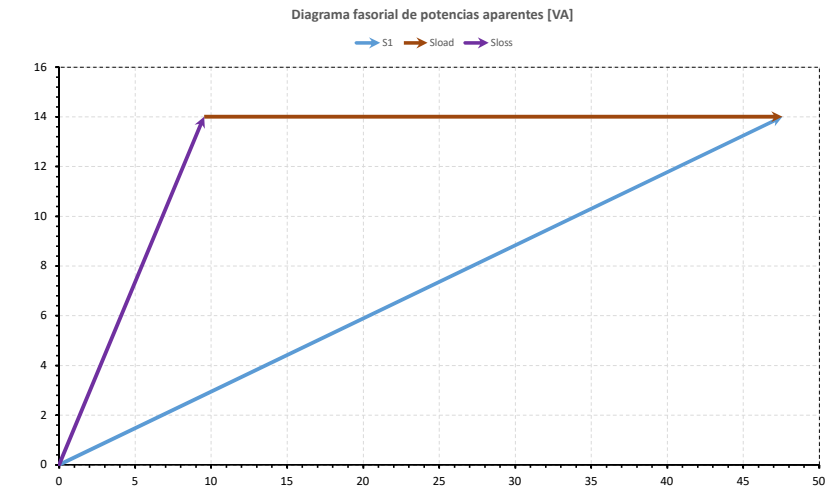
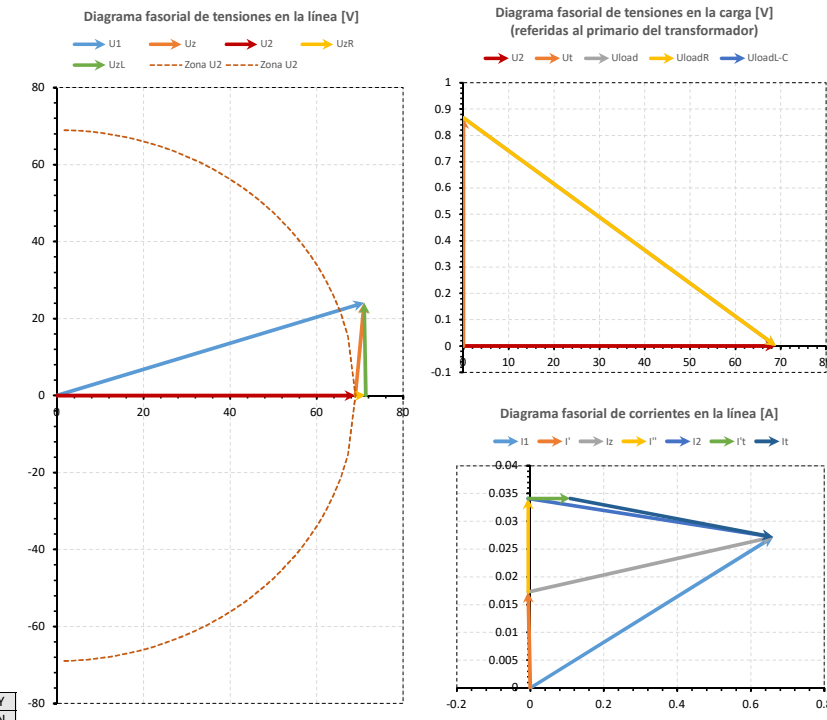
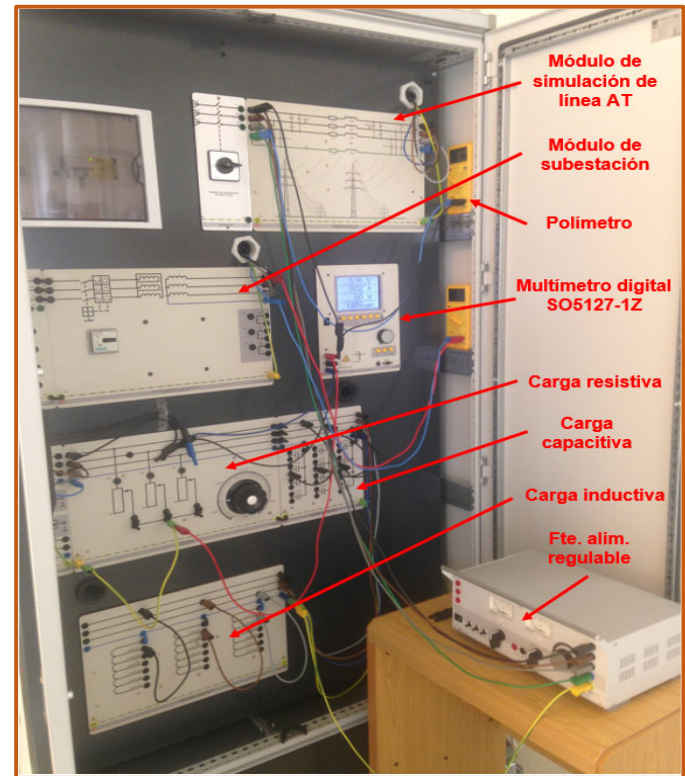
Transformador	
Primario (N1)	29 D
Secundario (N2)	51 yn
Grupo de conexión y rel. de transf. (-)	Dyn 0.985
Índice horario y desfase (deg.)	5 -150
Resistencia CC	0.02 Ohm
Inductancia CC	5.00 mH
Impedancia serie equivalente	0.02+1.5707963267949i Ohm
Resistencia OC	6.00E+02 Ohm
Inductancia OC	0.00 mH
Impedancia magnetización equivalente	600 Ohm
Admitancia magnetización equivalente	0.00166666666666667 S

Carga	
Resistencia eq. Y por fase	125 Ohm
Inductancia eq. Y por fase	1200 mH
Capacidad eq. Y por fase	4.00 µF
Impedancia equivalente por fase	125 Ohm

CARGA CONFIGURADA

Impedancia equivalente del circuito	
Impedancia equivalente del circuito	108.805994269522+32.044060107723i Ohm



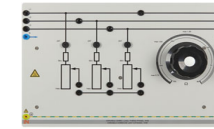
Cabecera de la línea			
Valores eficaces	Ángulos de fase	Magnitudes complejas	
U1f	75.00 V	0.000 rad	75
U1l	129.90 V	2.618 rad	-112.5+64.9519052838329i
I1	0.661 A	-0.286 rad	0.63428608254311-0.186801301628259i
P1f	47.571 W	cosPhi1	0.959
Q1f	14.010 VAR		47.5714561907333
S1f	49.592 VA	0.286 rad	14.0100976221194i
Línea de transporte			
Valores eficaces	Ángulos de fase	Magnitudes complejas	
I'	0.018 A	1.571 rad	0.0182722882714416i
Iz	0.667 A	-0.313 rad	0.63428608254311-0.205073589899701i
Delta Uz	24.213 V	1.159 rad	9.6955826878621+22.187396436581i
I''	0.017 A	1.243 rad	0.00540552671575952+0.0159101485136787i
Pz	1.600 W	cosPhiZ	0.099109759
Qz	16.061 VAR		1.59972412327935
Sz	16.141 VA	1.472 rad	16.0614647155592i
P'	0.000 W	cosPhi'	6.126E-17
Q'	-1.370 VAR		8.39484965377559E-17
S'	1.370 VA	-1.571 rad	-1.37042162035812i
P''	0.000 W	cosPhi''	5.053E-16
Q''	-1.159 VAR		5.85665184352634E-16
S''	1.159 VA	-1.571 rad	-1.15893754222645i
Ploss	1.600 W	cosPhiLoss	0.117
Qloss	13.532 VAR		1.59972412327935
Sloss	13.626 VA	1.453 rad	13.532105529746i
Cola de la línea			
Valores eficaces	Ángulos de fase	Magnitudes complejas	
U2f	68.97 V	-0.328 rad	65.3044173121379-22.187396436581i
U2l	119.46 V	2.290 rad	-78.7417770102914+89.8363790265232i
I2	0.667 A	-0.338 rad	0.62888055582735-0.22098373841338i
P2f	45.972 W	cosPhi2	1.000
Q2f	38.685 VAR		45.9717320674539i
S2f	45.974 VA	0.010 rad	38.6846269734366i
Transformador			
Valores eficaces	Ángulos de fase	Magnitudes complejas	
I't	0.115 A	-0.328 rad	0.10884069552023-0.0369789940609684i
I't	0.552 A	-0.340 rad	0.52003986030712-0.184004744352412i
Delta Ut	0.867 V	1.218 rad	0.299434773747746+0.813196607470309i
P't	7.928 W	cosPhi'T	1.000
Q't	0.000 VAR		7.92824580185312
S't	7.928 VA	0.000 rad	4.44089209850063E-16i
Pt	0.006 W	cosPhiT	0.013
Qt	0.478 VAR		7.92824580185312+4.44089209850063E-16i
St	0.478 VA	1.558 rad	0.00608598404504899
PlossT	7.934 W	cosPhiLossT	0.998
QlossT	0.478 VAR		0.47799206914476i
SlossT	7.949 VA	0.060 rad	7.93433178589817+0.47799206914476i
Carga			
Valores eficaces	Ángulos de fase	Magnitudes complejas	
Uloadf	70.012 V	-2.958 rad	-68.8362661606656-12.776424263464i
Uloadl	121.264 V	-0.340 rad	114.319107222686-40.4493188016075i
Iload	0.543 A	-2.958 rad	-0.534175777080689-0.0991462311932922i
IR	0.560 A	-2.958 rad	-0.550690129285325-0.102211394107712i
IL	0.000 A	0.000 rad	0
IC	0.000 A	0.000 rad	0
PR	39.213 W	cosPhiR	1.000
QR	0.000 VAR		39.2133484472162
SR	39.213 VA	0.000 rad	2.66453525910038E-15i
PL	0.000 W	cosPhiL	1.000
QL	0.000 VAR		39.2133484472162+2.66453525910038E-15i
SL	0.000 VA	0.000 rad	0
PC	0.000 W	cosPhiC	1.000
QC	0.000 VAR		0
SC	0.000 VA	0.000 rad	0
Pload	38.037 W	cosPhiLoad	1.000
Qload	0.000 VAR		38.0374002815557
Sload	38.037 VA	0.000 rad	1.0302869685215E-13i



## CONFIGURACIÓN DE CARGAS

### CARGAS RESISTIVAS

Resistencia conectada	Rango [Ohm]	Impedancia [Ohm]	Intensidad máxima [A]	
125.00[Ohm]	[0-1000]	125	0.60	
Configuración: Estrella				
Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
0.008[S]	125[Ohm]	75.000	129.904	0.600



MÁXIMO INDIVIDUAL  
MÁXIMO EN CONJUNTO

### CARGAS INDUCTIVAS

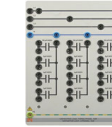
Inductancia conectada	Rango [H]	Impedancia [Ohm]	Intensidad máxima [A]	
0.000[H]	[1.2-3.2]	2.82743338823081E+102	9E+99	
Configuración: Estrella				
Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
-3.53677651315323E-103[S]	2.82743338823081E+102[Ohm]	75.000	129.904	0.000



MÁXIMO INDIVIDUAL  
MÁXIMO EN CONJUNTO

### CARGAS CAPACITIVAS

Capacidad conectada	Rango [µF]	Impedancia [Ohm]	Tensión máxima [V]	
0.000[µF]	[4-16]	9E+99	9E+99	
Configuración: Estrella				
Admitancia equivalente por fase	Impedancia equivalente por fase	Tensión de fase [V]	Tensión de línea [V]	Intensidad [A]
1.11111111111111E-100[S]	9E+99[Ohm]	75.000	129.904	0.000

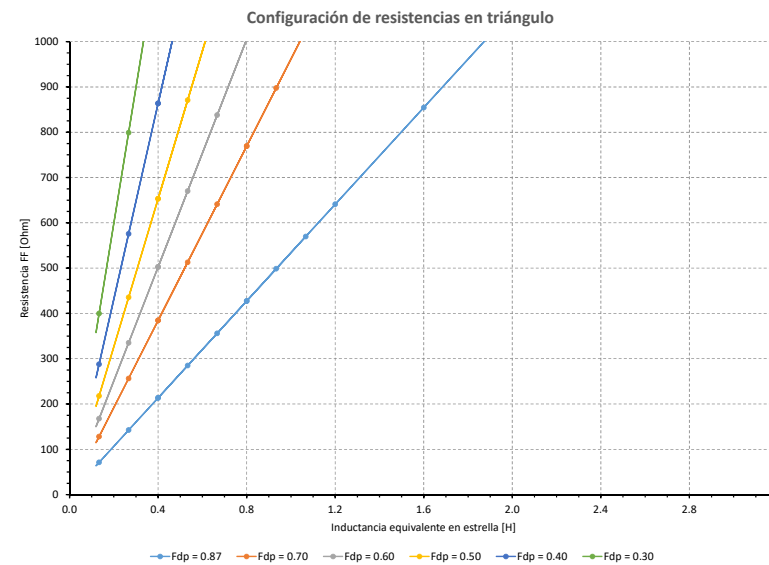
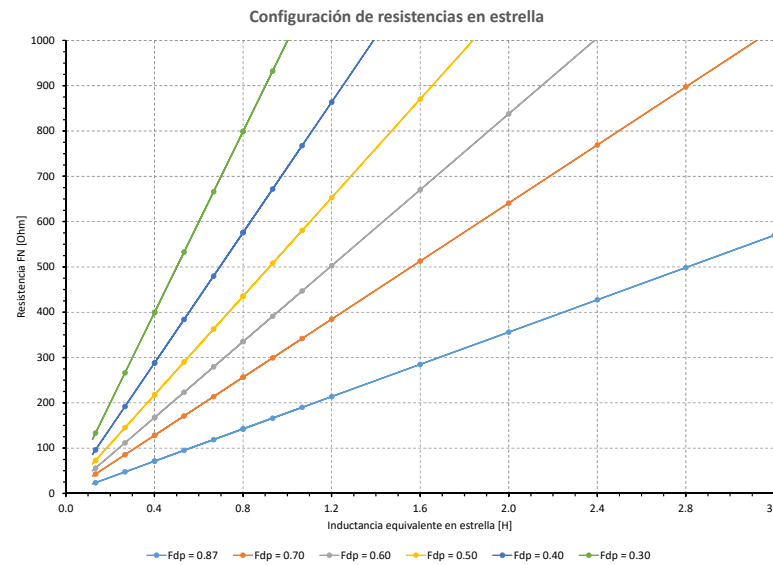


MÁXIMO INDIVIDUAL  
MÁXIMO EN CONJUNTO

### CARGA TOTAL EQUIVALENTE (EN ESTRELLA)

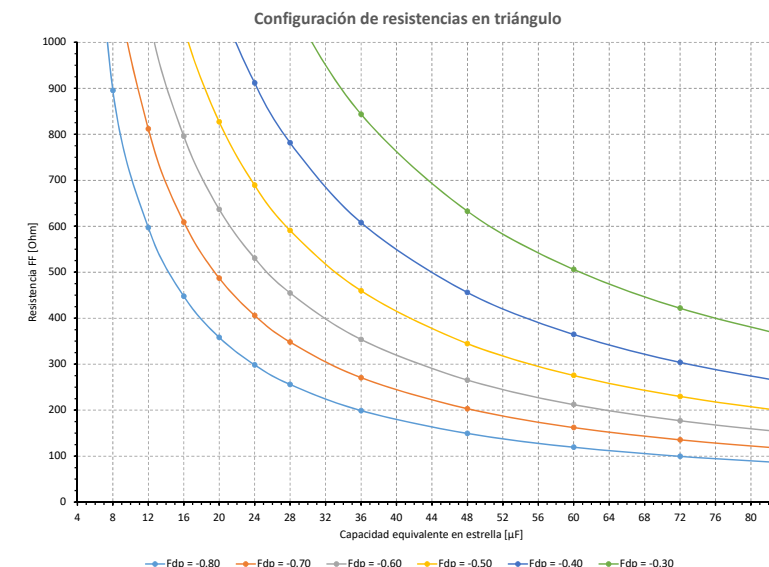
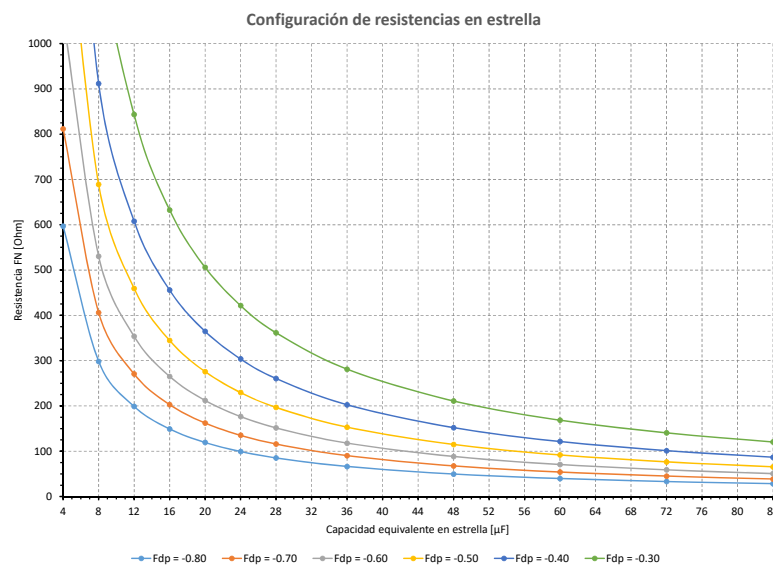
Admitancia por fase	Impedancia por fase	Tensión de fase máxima [V]	Tensión de línea máxima [V]	Intensidad máxima [A]
0.008-3.53677651315323E-103[S]	125[Ohm]	75.000	129.904	0.600

Resistencia	125.000	Ohm
Inductancia	0.000	mH
Capacidad	0.000	µF
Fdp	1.000	CAP



Fdp ind. a representar	0.87	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30
------------------------	------	------	------	------	------	------

\*NOTA: Cuanto más próximo a 0.71 menor error por el transformador de aislamiento.



Fdp cap. a representar	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30
------------------------	------	------	------	------	------	------

# ENSAYOS DE LA LÍNEA CON TENSIÓN CONSTANTE EN EXTREMO EMISOR

Rz actual: 3.59994977 Ohm

Xz actual: 36.1440235 Ohm

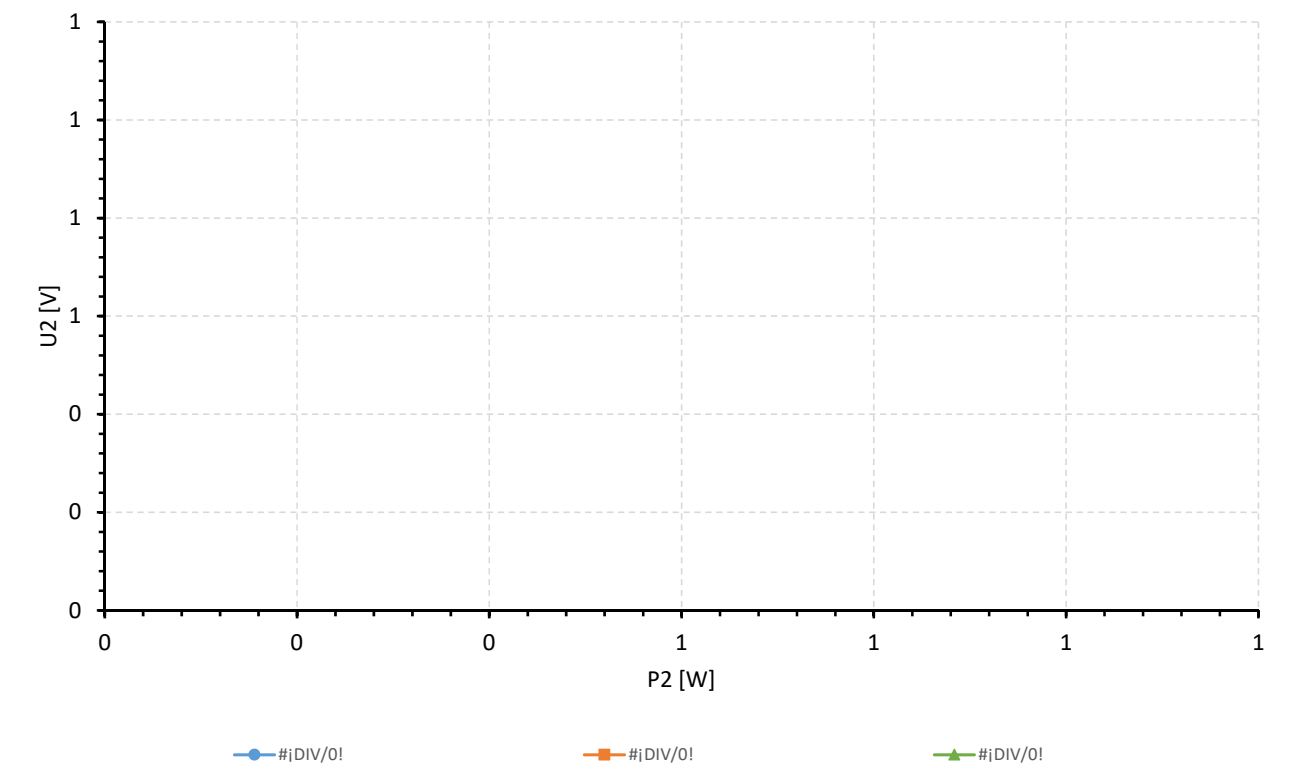
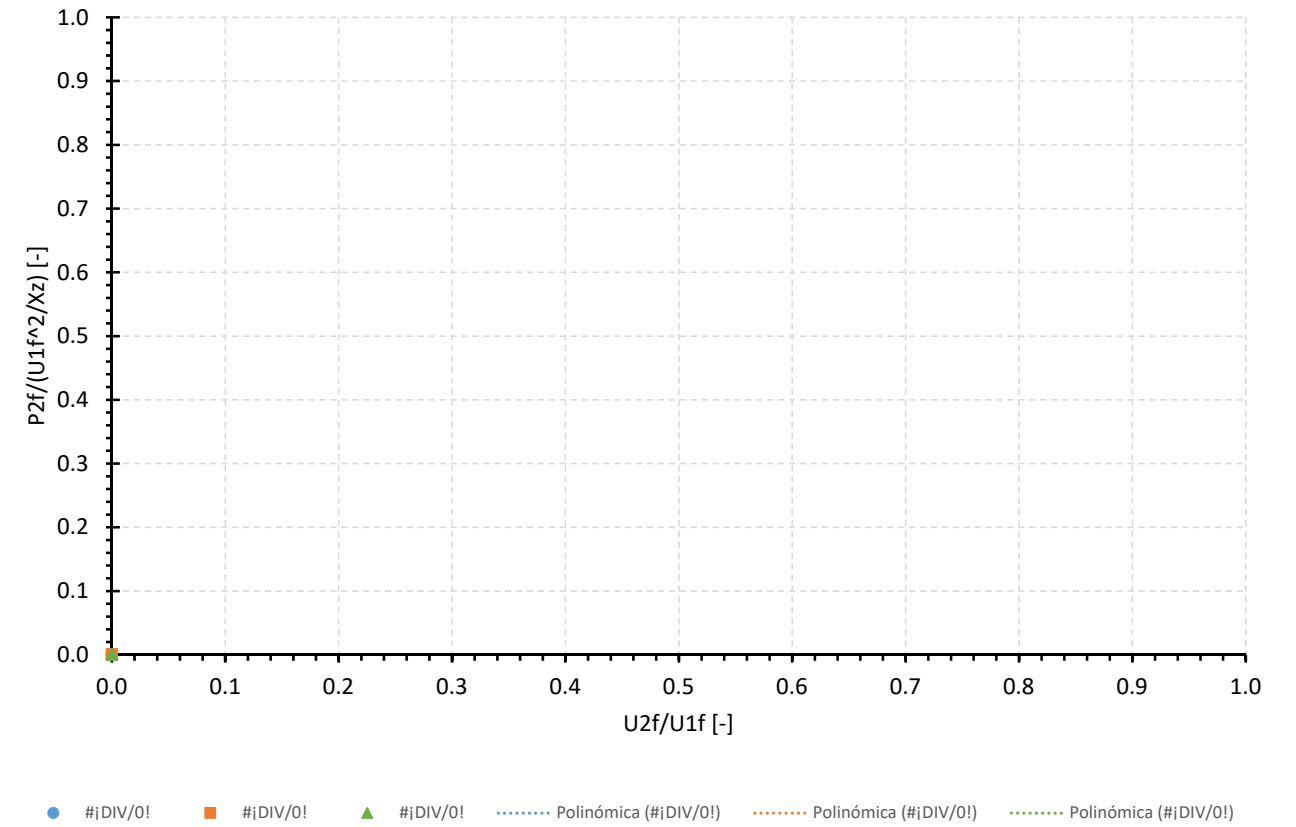
Rz/Xz actual: 0.09960014 -

NOTA: Para modelo simplificado, anular la admitancia transversal de la línea y la impedancia serie y paralelo del transformador.

Ensayo		1	Rz [Ohm]	Xz [Ohm]	Rz/Xz [-]	#iDIV/0!	U1 <sup>2</sup> /Xz [W]	#iDIV/0!			
Medida	U1f [V]	U2f [V]	U2f/U1f [-]	P1f [W]	P2f [W]	P2f/(U1f <sup>2</sup> /Xz) [-]	Rload [Ohm]	Xload [Ohm]	Pload [W]	Qload [VAr]	fdp load [-]
1			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
2			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
3			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
4			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
5			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
6			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
7			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
8			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
9			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
10			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
11			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
12			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!

Ensayo		2	Rz [Ohm]	Xz [Ohm]	Rz/Xz [-]	#iDIV/0!	U1 <sup>2</sup> /Xz [W]	#iDIV/0!			
Medida	U1f [V]	U2f [V]	U2f/U1f [-]	P1f [W]	P2f [W]	P2f/(U1f <sup>2</sup> /Xz) [-]	Rload [Ohm]	Xload [Ohm]	Pload [W]	Qload [VAr]	fdp load [-]
1			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
2			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
3			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
4			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
5			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
6			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
7			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
8			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
9			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
10			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
11			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
12			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!

Ensayo		3	Rz [Ohm]	Xz [Ohm]	Rz/Xz [-]	#iDIV/0!	U1 <sup>2</sup> /Xz [W]	#iDIV/0!			
Medida	U1f [V]	U2f [V]	U2f/U1f [-]	P1f [W]	P2f [W]	P2f/(U1f <sup>2</sup> /Xz) [-]	Rload [Ohm]	Xload [Ohm]	Pload [W]	Qload [VAr]	fdp load [-]
1			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
2			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
3			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
4			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
5			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
6			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
7			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
8			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
9			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
10			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
11			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!
12			#iDIV/0!			#iDIV/0!					#iDIV/0!



### SIMULADOR DE OPERACIÓN DE LÍNEA TRIFÁSICA EQUILIBRADA MEDIANTE MODELO EN PI

Generador / Fuente de alimentación		
Tensión de fase	230 V	V
Tensión de línea	398.1 V	V
Frecuencia	50	Hz

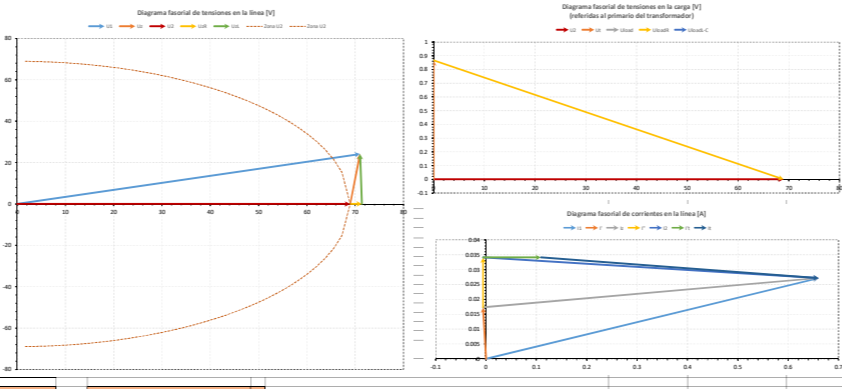
Parámetros de la línea		
Longitud	150	km
Sección del cable	120x4	mm <sup>2</sup>
Resistencia por fase	0.0287	Ω/km
Inductancia unitaria por fase	0.787	mH/km
Capacidad unitaria por fase	11.5	nF/km
Inductancia total	118.05	mH
Capacidad total	1725	nF
Resistencia equivalente	4.305	Ω
Inductancia equivalente	118.05	mH
Capacidad equivalente	1725	nF

Transformador		
Primario (N1)	30	Ω
Secundario (N2)	30	Ω
Inductancia CC	0.001	H
Inductancia AC	0.001	H
Inductancia DC	0	H
Inductancia equivalente	0.001	H
Inductancia equivalente	0.001	H

Carga		
Resistencia en Y por fase	1000	Ω
Inductancia en Y por fase	0	H
Capacidad en Y por fase	0	F
Inductancia equivalente por fase	0	H



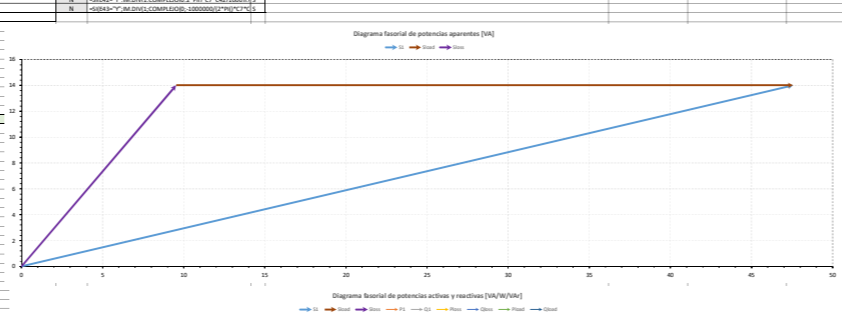
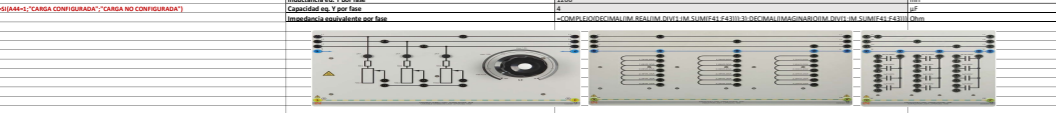
Cabeceira de la línea		Magnitudes complejas	
U1	230	∠0	COMPLEX(230,0)
U2	230	∠120	COMPLEX(230,120)
U3	230	∠240	COMPLEX(230,240)
I1	0.23	∠-36.87	COMPLEX(0.23,-36.87)
I2	0.23	∠-156.87	COMPLEX(0.23,-156.87)
I3	0.23	∠76.87	COMPLEX(0.23,76.87)

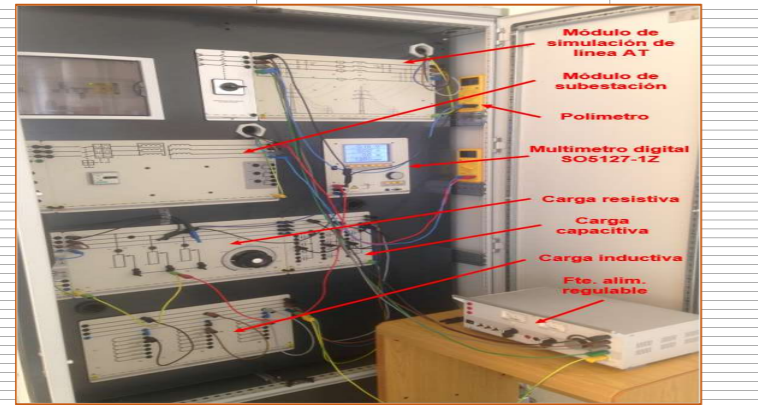
Línea de transporte		Magnitudes complejas	
U1	230	∠0	COMPLEX(230,0)
U2	230	∠120	COMPLEX(230,120)
U3	230	∠240	COMPLEX(230,240)
I1	0.23	∠-36.87	COMPLEX(0.23,-36.87)
I2	0.23	∠-156.87	COMPLEX(0.23,-156.87)
I3	0.23	∠76.87	COMPLEX(0.23,76.87)

Carga de la línea		Magnitudes complejas	
U1	230	∠0	COMPLEX(230,0)
U2	230	∠120	COMPLEX(230,120)
U3	230	∠240	COMPLEX(230,240)
I1	0.23	∠-36.87	COMPLEX(0.23,-36.87)
I2	0.23	∠-156.87	COMPLEX(0.23,-156.87)
I3	0.23	∠76.87	COMPLEX(0.23,76.87)



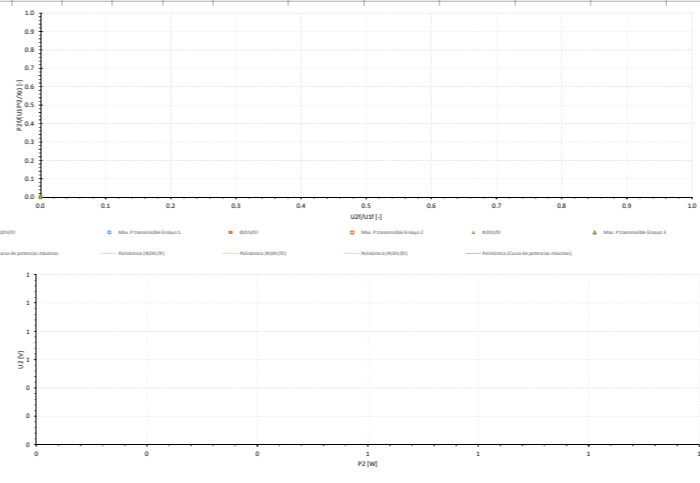
Carga		Magnitudes complejas	
U1	230	∠0	COMPLEX(230,0)
U2	230	∠120	COMPLEX(230,120)
U3	230	∠240	COMPLEX(230,240)
I1	0.23	∠-36.87	COMPLEX(0.23,-36.87)
I2	0.23	∠-156.87	COMPLEX(0.23,-156.87)
I3	0.23	∠76.87	COMPLEX(0.23,76.87)





ENSAYOS DE LA LÍNEA CON TENSIÓN CONSTANTE EN EXTREMO EMISOR

R1 actual: -04.84200000000000E+01												R2 actual: -04.84200000000000E+01												R3 actual: -04.84200000000000E+01												NOTA: Para modo interactivo											
Cálculo de potencia de transmisión máxima												Cálculo de potencia de transmisión máxima												Cálculo de potencia de transmisión máxima												Cálculo de potencia de transmisión máxima											
Medida 1				Medida 2				Medida 3				Medida 4				Medida 5				Medida 6				Medida 7				Medida 8				Medida 9				Medida 10											
U <sub>1</sub> [V]	I <sub>1</sub> [A]	P <sub>1</sub> [W]	U <sub>2</sub> [V]	I <sub>2</sub> [A]	P <sub>2</sub> [W]	U <sub>3</sub> [V]	I <sub>3</sub> [A]	P <sub>3</sub> [W]	U <sub>4</sub> [V]	I <sub>4</sub> [A]	P <sub>4</sub> [W]	U <sub>5</sub> [V]	I <sub>5</sub> [A]	P <sub>5</sub> [W]	U <sub>6</sub> [V]	I <sub>6</sub> [A]	P <sub>6</sub> [W]	U <sub>7</sub> [V]	I <sub>7</sub> [A]	P <sub>7</sub> [W]	U <sub>8</sub> [V]	I <sub>8</sub> [A]	P <sub>8</sub> [W]	U <sub>9</sub> [V]	I <sub>9</sub> [A]	P <sub>9</sub> [W]	U <sub>10</sub> [V]	I <sub>10</sub> [A]	P <sub>10</sub> [W]	U <sub>11</sub> [V]	I <sub>11</sub> [A]	P <sub>11</sub> [W]	U <sub>12</sub> [V]	I <sub>12</sub> [A]	P <sub>12</sub> [W]												
1	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
2	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
3	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
4	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
5	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
6	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
7	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
8	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
9	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												
10	100	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000	100	0.0000	0.0000												



Cálculo de potencia de transmisión máxima											
x	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>6</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>8</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>10</sub>	U <sub>11</sub>
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
1	U1	X	Y		U1	X	Y						Zona U2	X	Y		X												
2	Origen	=0	=0		Origen	=B14	=C14						1	=M2*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-03	=-1*N3		N		Estrella				0	4	D	d	
3	Fin	=B2*SIMULADORISPS11/COS	=C2*SIMULADORISPS11/SEN		Fin	=F2*SIMULADORIP11*COSEN	=G2*SIMULADORIP11*SENOSEN						2	=M3*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-03	=-1*N3				Triángulo				0	4	Y	y	
4	Uz	X	Y		Uload	X	Y						3	=M4*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-04	=-1*N4								0.4	8	YN	yn	
5	Origen	=B15	=C15		Origen	=F3	=G3						4	=M5*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-05	=-1*N5								0.8	12			
6	Fin	=B5*SIMULADORISPS11*COSEN	=C5*SIMULADORISPS11*SENOSEN		Fin	=F5*SIMULADORIP11*COSEN	=G5*SIMULADORIP11*SENOSEN						5	=M6*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-06	=-1*N6								1.6	16			
7	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D7)					6	=M7*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-07	=-1*N7								2	24			
8	Origen	=B15	=C15		Origen	=F3	=G3						7	=M8*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-08	=-1*N8								2.4	28			
9	Fin	=B5*SIMULADORISPS11*COSEN	=C5*SIMULADORISPS11*SENOSEN		Fin	=F5*SIMULADORIP11*COSEN	=G5*SIMULADORIP11*SENOSEN						8	=M9*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-09	=-1*N9								2.8	32			
10	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D10)					9	=M10*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-10	=-1*N10								3.2	36			
11	Origen	=B9	=C9		Origen	=F5	=G5						10	=M11*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-11	=-1*N11												
12	Fin	=B9	=C9		Fin	=F5	=G5						11	=M12*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-12	=-1*N12												
13	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D11)					12	=M13*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-13	=-1*N13												
14	Origen	=0	=0		Origen	=F5	=G5						13	=M14*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-14	=-1*N14												
15	Fin	=B14+K13*COSEN	=C14+K13*SENOSEN		Fin	=F14+K13*COSEN	=G14+K13*SENOSEN						14	=M15*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-15	=-1*N15												
16	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D12)					15	=M16*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-16	=-1*N16												
17	Origen	=0	=0		Origen	=F15	=G15						16	=M17*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-17	=-1*N17												
18	Fin	=B17+K16*COSEN	=C17+K16*SENOSEN		Fin	=F17+K16*COSEN	=G17+K16*SENOSEN						17	=M18*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-18	=-1*N18												
19	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D13)					18	=M19*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-19	=-1*N19												
20	Origen	=0	=0		Origen	=F15	=G15						19	=M20*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-20	=-1*N20												
21	Fin	=B21+SIMULADORISPS10*COSEN	=C21+SIMULADORISPS10*SENOSEN		Fin	=F21+SIMULADORISPS10*COSEN	=G21+SIMULADORISPS10*SENOSEN						20	=M21*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-21	=-1*N21												
22	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D14)					21	=M22*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-22	=-1*N22												
23	Origen	=B22	=C22		Origen	=F21	=G21						22	=M23*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-23	=-1*N23												
24	Fin	=B24+SIMULADORISPS14*COSEN	=C24+SIMULADORISPS14*SENOSEN		Fin	=F24+SIMULADORISPS14*COSEN	=G24+SIMULADORISPS14*SENOSEN						23	=M24*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-24	=-1*N24												
25	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D15)					24	=M25*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-25	=-1*N25												
26	Origen	=B24	=C24		Origen	=F25	=G25						25	=M26*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-26	=-1*N26												
27	Fin	=B27+SIMULADORISPS19*COSEN	=C27+SIMULADORISPS19*SENOSEN		Fin	=F27+SIMULADORISPS19*COSEN	=G27+SIMULADORISPS19*SENOSEN						26	=M27*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-27	=-1*N27												
28	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D16)					27	=M28*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-28	=-1*N28												
29	Origen	=B28	=C28		Origen	=F28	=G28						28	=M29*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-29	=-1*N29												
30	Fin	=B30+SIMULADORISPS21*COSEN	=C30+SIMULADORISPS21*SENOSEN		Fin	=F30+SIMULADORISPS21*COSEN	=G30+SIMULADORISPS21*SENOSEN						29	=M30*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-30	=-1*N30												
31	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D17)					30	=M31*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-31	=-1*N31												
32	Origen	=B30	=C30		Origen	=F31	=G31						31	=M32*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-32	=-1*N32												
33	Fin	=B33+SIMULADORISPS36*COSEN	=C33+SIMULADORISPS36*SENOSEN		Fin	=F33+SIMULADORISPS36*COSEN	=G33+SIMULADORISPS36*SENOSEN						32	=M33*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-33	=-1*N33												
34	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D18)					33	=M34*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-34	=-1*N34												
35	Origen	=B34	=C34		Origen	=F31	=G31						34	=M35*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-35	=-1*N35												
36	Fin	=B36+SIMULADORISPS44*COSEN	=C36+SIMULADORISPS44*SENOSEN		Fin	=F36+SIMULADORISPS44*COSEN	=G36+SIMULADORISPS44*SENOSEN						35	=M36*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-36	=-1*N36												
37	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D19)					36	=M37*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-37	=-1*N37												
38	Origen	=B37	=C37		Origen	=F37	=G37						37	=M38*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-38	=-1*N38												
39	Fin	=B39+SIMULADORISPS47*COSEN	=C39+SIMULADORISPS47*SENOSEN		Fin	=F39+SIMULADORISPS47*COSEN	=G39+SIMULADORISPS47*SENOSEN						38	=M39*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-39	=-1*N39												
40	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D20)					39	=M40*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-40	=-1*N40												
41	Origen	=B40	=C40		Origen	=F40	=G40						40	=M41*SIMULADORISPS11/D1	=RAIZSIMULADORISPS11	=-41	=-1*N41												
42	Fin	=B42+SIMULADORISPS70*COSEN	=C42+SIMULADORISPS70*SENOSEN		Fin	=F42+SIMULADORISPS70*COSEN	=G42+SIMULADORISPS70*SENOSEN																						
43	Uz	X	Y	=M.PRODUCTO(SIMULADORISPS11)	Uload	X	Y	=M.ABS(D21)																					
44	Origen	=0	=0		Origen	=F21	=G21																						
45	Fin	=B42	=C42		Fin	=F42	=G42																						