



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento: Ingeniería Eléctrica

Área de Conocimiento: Ingeniería Eléctrica

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Análisis y simulación de una micro red

---

**Autor:** Ruth Cueto García

**Tutor:** Alejandro Rodríguez Gómez

**Titulación:** Grado en ingeniería en tecnologías industriales

**Itinerario:** Electricidad

Málaga, septiembre de 2023

# Análisis y simulación de una micro red

Ruth Cueto García

# Resumen

El trabajo con título *Análisis y simulación de una micro red* pretende implementar las situaciones reales que pueden darse en las micro redes, analizando los cambios en las señales eléctricas y los efectos que ocasionan las faltas sobre la totalidad del sistema.

El análisis de la micro red se basa en el diseño de un modelo creado a partir del uso de bloques en el entorno de Simulink que nos permita, mediante distintas pruebas efectuadas a través de una aplicación, conocer las variaciones dadas tras la aparición de faltas previas a la alimentación de las cargas conectadas.

Por último, a las tensiones e intensidades de la red obtenidas se les aplica un análisis mediante la transformada Wavelet para determinar cuándo se producen las perturbaciones.

**Palabras clave:** Simulink, App designer, MATLAB, faltas, perturbaciones, Wavelet.



# Abstract

The project entitled *Analysis and simulation of a microgrid* aims to implement the real situations that can occur in microgrids, analyzing the changes in electrical signals and the effects caused by faults on the entire system.

The analysis of the microgrid is based on the design of a model created from the use of blocks in the Simulink environment that allows us, by means of different tests carried out through an application, to know the variations given after the occurrence of faults prior to the supply of the connected loads.

Finally, a Wavelet transform analysis is applied to the network voltages and currents obtained to determine when the disturbances occur.

**Key words:** Simulink, App designer, MATLAB, faults, disturbances, Wavelet.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>15</b>
1.1. Antecedentes y objeto	15
1.2. Objetivos	17
1.3. Plan de trabajo	17
1.4. Métodos y herramientas	19
1.4.1. Conceptos eléctricos	19
1.4.2. Sistemas eléctricos	19
1.4.2.1. Sistemas de generación distribuida	20
1.4.2.2. Sistemas de almacenamiento de energía	21
1.4.2.3. Cargas conectadas a la micro red	22
1.4.3. Simulink	22
1.4.4. Transformada tiempo-frecuencia	23
1.4.4.1. Transformada de Fourier	23
1.4.4.2. Condición de Nyquist	23
1.4.4.3. Transformada de Wavelet	23
<b>2. Modelado de la micro red</b>	<b>25</b>
2.1. La red trifásica	26
2.2. La línea trifásica	26
2.3. Medidas de la red	28
2.4. Cargas conectadas	31
2.4.1. Central eólica	31
2.4.2. Fábrica	34
2.5. Aplicación	35
2.6. Transformada Wavelet	37
<b>3. Resultados</b>	<b>41</b>
3.1. Funcionamiento normal de la red	41
3.1.1. Central eólica	48
3.1.2. Fábrica	50
3.1.3. Análisis Wavelet	51
3.1.3.1. Intensidad Ia	51
3.1.3.2. Intensidad Ib	52
3.1.3.3. Intensidad Ic	53

3.1.3.4.	Tensión Va . . . . .	54
3.1.3.5.	Tensión Vb . . . . .	55
3.1.3.6.	Tensión Vc . . . . .	56
3.2.	Falta fase A a tierra en la central eólica . . . . .	58
3.3.	Falta fase B a fase C en la fábrica . . . . .	64
3.4.	Falta fase B a fase C y a tierra en la fábrica . . . . .	70
3.5.	Falta fase a tierra en ambas cargas . . . . .	72
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>79</b>
4.1.	Conclusiones . . . . .	79
4.2.	Líneas futuras . . . . .	80
4.2.1.	Respecto al modelo de micro red . . . . .	80
4.2.2.	Respecto al análisis de las señales . . . . .	80
<b>5.</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>81</b>
5.1.	Cuadros de precios básicos . . . . .	81
5.2.	Cuadro de precios descompuestos . . . . .	82
5.3.	Resumen de presupuestos . . . . .	83
<b>6.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>85</b>

# Índice de figuras

1.1. Diagrama de GANTT. . . . .	18
1.2. Plan de trabajo. . . . .	18
2.1. Modelo de micro red. . . . .	25
2.2. Modelado de la red. . . . .	26
2.3. Modelado de la línea. . . . .	27
2.4. Impedancia de la línea. . . . .	27
2.5. Aparato de medida en la micro red. . . . .	28
2.6. Medidas de tensión y corriente. . . . .	29
2.7. Valores medios y eficaces. . . . .	29
2.8. Configuración del bloque flickermeter. . . . .	30
2.9. Tensiones e intensidades. . . . .	30
2.10. Central. . . . .	31
2.11. Fábrica. . . . .	31
2.12. Modelo Wavelet. . . . .	31
2.13. Central eólica. . . . .	32
2.14. Three-Phase Fault. . . . .	32
2.15. Medidas en la central. . . . .	32
2.16. THD. . . . .	33
2.17. Medidas de los aerogeneradores. . . . .	33
2.18. Modelo de la fábrica. . . . .	34
2.19. Aplicación. . . . .	35
2.20. Código para introducir los valores de tiempo. . . . .	36
2.21. Selección de falta en la central eólica. . . . .	36
2.22. Mensaje de aviso en la central eólica para el usuario. . . . .	37
2.23. Mensajes de aviso en la fábrica para el usuario. . . . .	37
2.24. Elección. . . . .	38
2.25. Opciones. . . . .	38
2.26. Menú. . . . .	38
2.27. Descomposición de las señales. . . . .	38
2.28. Reconstrucción de las señales y representación gráfica. . . . .	39
3.1. Red. . . . .	43
3.2. Línea. . . . .	43
3.3. Tensiones y corrientes. . . . .	43

3.4. Central eólica. . . . .	43
3.5. Fábrica. . . . .	43
3.6. Tensiones y corrientes. . . . .	43
3.7. Red. . . . .	43
3.8. Línea. . . . .	43
3.9. Potencia activa y reactiva. . . . .	43
3.10. Potencia en el bloque de medidas. . . . .	44
3.11. Comprobación de la señal. . . . .	44
3.12. Tensión en secuencia cero. . . . .	45
3.13. Tensión en secuencia positiva. . . . .	45
3.14. Tensión en secuencia negativa. . . . .	46
3.15. Tercer armónico de la tensión. . . . .	46
3.16. Intensidad en secuencia cero. . . . .	47
3.17. Intensidad en secuencia positiva. . . . .	47
3.18. Intensidad en secuencia negativa. . . . .	48
3.19. Tercer armónico de la corriente. . . . .	48
3.20. Transformada de Fourier de la corriente de la central eólica. . . . .	49
3.21. Transformada de Fourier de la tensión de la central eólica. . . . .	50
3.22. Transformada de Fourier de la corriente de la fábrica. . . . .	50
3.23. Transformada de Fourier de la tensión de la fábrica. . . . .	50
3.24. Señal original. . . . .	51
3.25. Reconstrucción. . . . .	51
3.26. Corriente de la fase A. . . . .	51
3.27. Niveles de detalle para Ia. . . . .	52
3.28. Señal original. . . . .	52
3.29. Reconstrucción. . . . .	52
3.30. Corriente de la fase B. . . . .	52
3.31. Niveles de detalle para Ib. . . . .	53
3.32. Señal original. . . . .	53
3.33. Reconstrucción. . . . .	53
3.34. Corriente de la fase C. . . . .	53
3.35. Niveles de detalle para Ic. . . . .	54
3.36. Señal original. . . . .	54
3.37. Reconstrucción. . . . .	54
3.38. Tensión de la fase A. . . . .	54
3.39. Niveles de detalle para Va. . . . .	55
3.40. Señal original. . . . .	55
3.41. Reconstrucción. . . . .	55
3.42. Tensión de la fase B. . . . .	55
3.43. Niveles de detalle para Vb. . . . .	56
3.44. Señal original. . . . .	56
3.45. Reconstrucción. . . . .	56
3.46. Tensión de la fase C. . . . .	56
3.47. Niveles de detalle para Vc. . . . .	57

3.48. Elección de falta. . . . .	58
3.49. Tensiones y corrientes en la central eólica. Simulación 2. . . . .	59
3.50. Tensión de la fase A. . . . .	60
3.51. Transformada de Fourier de tensión. . . . .	60
3.52. Señal original. . . . .	61
3.53. Reconstrucción. . . . .	61
3.54. Tensión de la fase A. . . . .	61
3.55. Niveles de detalle para Va. . . . .	61
3.56. Señal original. . . . .	62
3.57. Reconstrucción. . . . .	62
3.58. Tensión de la fase B. . . . .	62
3.59. Niveles de detalle para Vb. . . . .	62
3.60. Señal original. . . . .	63
3.61. Reconstrucción. . . . .	63
3.62. Tensión de la fase C. . . . .	63
3.63. Niveles de detalle para Vc. . . . .	63
3.64. Elección de falta en la fábrica. . . . .	64
3.65. Tensiones y corrientes en la fábrica. . . . .	65
3.66. Transformada de Fourier de la corriente de la fábrica. . . . .	66
3.67. Transformada de Fourier de la tensión de la fábrica. . . . .	66
3.68. Señal original. . . . .	67
3.69. Reconstrucción. . . . .	67
3.70. Corriente de la fase B. . . . .	67
3.71. Niveles de detalle para Ib. . . . .	67
3.72. Señal original. . . . .	68
3.73. Reconstrucción. . . . .	68
3.74. Corriente de la fase C. . . . .	68
3.75. Niveles de detalle para Ic. . . . .	68
3.76. Señal original. . . . .	69
3.77. Reconstrucción. . . . .	69
3.78. Tensión de la fase A. . . . .	69
3.79. Niveles de detalle para Va. . . . .	69
3.80. Elección de falta en la fábrica. . . . .	70
3.81. Tensiones y corrientes en la fábrica. . . . .	71
3.82. Central eólica. . . . .	72
3.83. Red. . . . .	72
3.84. Tensiones y corrientes en el sistema. . . . .	72
3.85. Elección de falta. . . . .	72
3.86. Tensiones y corrientes en la fábrica. . . . .	74
3.87. Transformada de Fourier de la tensión en la fábrica. . . . .	74
3.88. Transformada de Fourier de la corriente en la fábrica. . . . .	75
3.89. Tensiones y corrientes en la central eólica. . . . .	75
3.90. Transformada de Fourier de la tensión en la central eólica. . . . .	76
3.91. Transformada de Fourier de la corriente en la central eólica. . . . .	76

3.92. Señal original. . . . .	77
3.93. Reconstrucción. . . . .	77
3.94. Tensión de la fase B en la fábrica. . . . .	77
3.95. Niveles de detalle para Vb en la fábrica. . . . .	77
3.96. Señal original. . . . .	78
3.97. Reconstrucción. . . . .	78
3.98. Tensión de la fase B en la central eólica. . . . .	78
3.99. Niveles de detalle para Vb en la central eólica. . . . .	78

# Índice de tablas

3.1. THD. Simulación 1. . . . .	41
3.2. Valor eficaz de la corriente. Simulación 1. . . . .	42
3.3. Valores medios y eficaces de la corriente. Simulación 1. . . . .	42
3.4. Valores medios y eficaces de la tensión. Simulación 1. . . . .	42
3.5. Valores de tensión y corriente en la central eólica. . . . .	49
3.6. Potencias en la central eólica. . . . .	49
3.7. Corrientes del estator . . . . .	51
3.8. THD. Simulación 2. . . . .	58
3.9. Valor eficaz de la corriente. Simulación 2. . . . .	59
3.10. THD. Simulación 3. . . . .	64
3.11. Valor eficaz de la corriente. Simulación 3. . . . .	65
3.12. THD. Simulación 4. . . . .	70
3.13. Valor eficaz de la corriente. Simulación 4. . . . .	71
3.14. THD. Simulación 5. . . . .	73
3.15. Valor eficaz de la corriente. Simulación 5. . . . .	73



# Capítulo 1

## Introducción

Conforme se integran las micro redes en el sistema eléctrico, se hace necesario estudiar el comportamiento ante posibles problemas técnicos y sus efectos sobre la calidad de la señal.

Por ello, se ha realizado un modelo de micro red en MATLAB Simulink que incluye la generación procedente de una central eólica y el consumo por parte de una fábrica, conectada a dicha red.

Este modelo, controlado mediante una aplicación, permite simular cualquier tipo de falta eléctrica que pueda producirse, así como su duración. En concreto, pueden estudiarse las faltas generadas aguas arriba tanto de la central eólica como del consumidor; es decir, la fábrica.

Asimismo, para localizar las perturbaciones ocasionadas en el tiempo, se aplica la transformada de Wavelet.

### 1.1. Antecedentes y objeto

El concepto de micro red aparece por primera vez en el año 1882 cuando Thomas A. Edison construye su primera central eléctrica. Su empresa instaló un total de cincuenta micro redes en cuatro años, que eran controladas de forma centralizada. Posteriormente, al convertirse la red eléctrica en un monopolio, las micro redes que funcionaban de forma aislada se fueron conectando poco a poco a la red, constituyendo parte de la red eléctrica actual [1].

Ahora, con la creciente demanda de energía, la reducción de la contaminación,

la incorporación de las fuentes renovables al sistema y la búsqueda de una red eléctrica que proporcione un servicio de gran eficiencia y calidad, las micro redes han presentado un gran desarrollo en los últimos tiempos. Pero, ¿qué son las micro redes? ¿Qué ventajas pueden aportar?

Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos, una micro red se define como un grupo de cargas interconectadas y recursos energéticos distribuidos dentro de unos límites eléctricos claramente definidos que actúa como una única entidad controlable con respecto a la red. Puede conectarse o desconectarse de la red para poder funcionar tanto conectada a la red como en modo isla [2].

Todas las micro redes se componen de tres elementos básicos como son los sistemas de generación distribuida, los sistemas de almacenamiento de energía y las cargas conectadas a la micro red. Estos elementos se explican con mayor detenimiento en el apartado 1.4.2 del presente documento.

Las micro redes, al contar con sistemas de generación distribuida (Apartado 1.4.2.1), posee diversas ventajas como la mejora de la calidad de la señal eléctrica, la fácil inserción de la energía renovable (se reduce la contaminación y se protege el ecosistema), se reducen las pérdidas de transmisión y distribución (las líneas son normalmente de menor longitud) y la mayor estabilidad del sistema.

Además, como pueden trabajar tanto en modo isla como conectadas a la red, ante cualquier falta ocasionada en la red pueden seguir funcionando perfectamente al desconectarse y operar de forma aislada. Por tanto, con este sistema se puede garantizar un suministro constante y fiable a los consumidores.

Asimismo, las micro redes presentan también la posibilidad de emplear indistintamente corriente continua, corriente alterna o un modelo híbrido que las integre.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal de este TFG es modelar una micro red que pueda existir perfectamente en el sistema eléctrico actual y estudiar la calidad de la señal eléctrica ante diversas perturbaciones. Específicamente, se establecen los siguientes objetivos:

**1. Diseñar una micro red empleando el entorno de Simulink, añadiendo bloques para causar faltas en la red.**

Se aprovechan todas las posibilidades que ofrece Simulink para crear la micro red, cuantificando distintos parámetros de las tensiones y corrientes como la distorsión armónica o los armónicos generados.

**2. Crear una aplicación que controle de forma remota los bloques de faltas eléctricas del modelo.**

Permite al usuario modificar las condiciones dadas por los bloques de Simulink insertados para producir faltas en el modelo sin necesidad de entrar propiamente en las opciones dadas por dichos bloques. Así, el usuario puede efectuar todas las simulaciones que necesite de forma rápida y eficiente, simplificando su uso.

**3. Examinar los efectos en las tensiones y corrientes tras las faltas.**

Las faltas afectan a la calidad de la señal y nos posibilita observar los cambios ocasionados según el punto en el que se produzca y la fase o fases afectadas.

**4. Localizar en el dominio del tiempo las perturbaciones originadas a partir de la transformada Wavelet.**

Esta herramienta aporta información acerca del instante en el que se originan las perturbaciones en la micro red, pudiendo así detectarlas y solucionarlas.

## 1.3. Plan de trabajo

La planificación realizada para el desarrollo del presente trabajo se ha recogido en el diagrama de GANTT de la Figura 1.1. En el eje de abscisas se muestra la duración en horas del trabajo y en el eje de ordenadas, las actividades efectuadas.

Asimismo, en la Figura 1.2 se recogen tanto las actividades como su descripción. También aparece la hora de inicio, la duración en horas y la hora de finalización de la tarea.

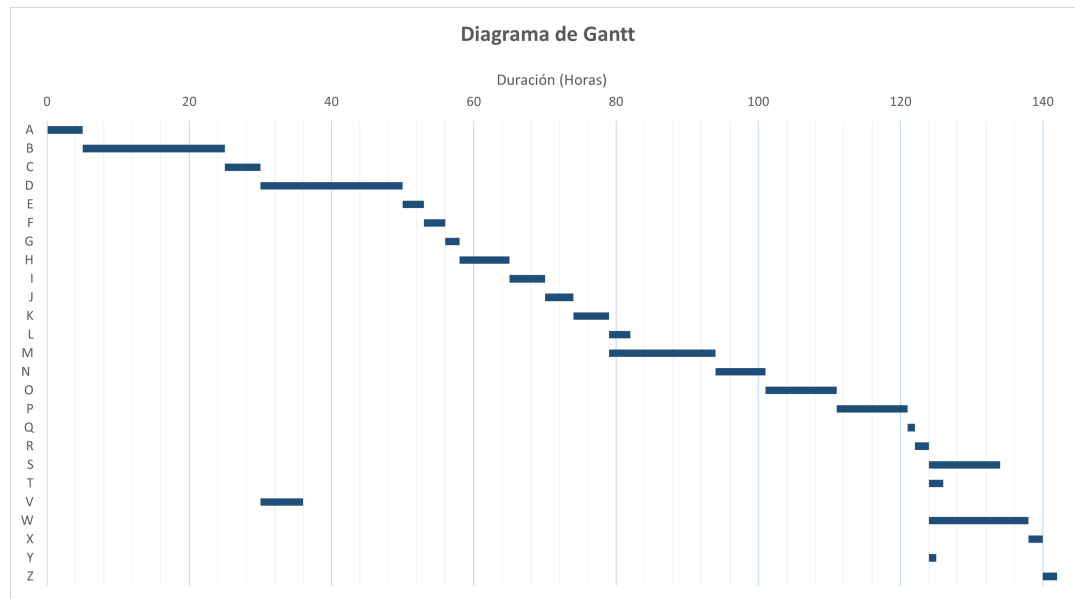


Figura 1.1: Diagrama de GANTT.

Actividad	Tarea	Inicio	Duración	Fin
A	Recopilación de información	0	5	5
B	Lectura de documentación y síntesis	5	20	25
C	Planteamiento inicial del proyecto	25	5	30
D	Aprendizaje en profundidad de Simulink	30	20	50
E	Simulación de circuitos básicos	50	3	53
F	Creación del bloque RED	53	3	56
G	Creación del bloque LÍNEA	56	2	58
H	Creación del bloque MEDIDAS	58	7	65
I	Creación del bloque CENTRAL EÓLICA	65	5	70
J	Integración de componentes y pruebas	70	4	74
K	Creación del bloque FÁBRICA	74	5	79
L	Pruebas en el modelo completo y obtención de señales	79	3	82
M	Desarrollo de la aplicación	79	15	94
N	Pruebas y modificaciones en la aplicación	94	7	101
O	Recopilación de información sobre transformadas tiempo-frecuencia	101	10	111
P	Estudio de su implementación a partir del modelo	111	10	121
Q	Programación de la transformada de Wavelet	121	1	122
R	Pruebas finales y modificaciones	122	2	124
S	Redacción del TFG (Capítulo 2)	124	10	134
T	Presupuesto	124	2	126
V	Redacción del TFG (Capítulo 1)	30	6	36
W	Obtener resultados y conclusiones	124	14	138
X	Estudio de líneas futuras	138	2	140
Y	Resumen	124	1	125
Z	Cronograma	140	2	142

Figura 1.2: Plan de trabajo.

## 1.4. Métodos y herramientas

### 1.4.1. Conceptos eléctricos

- **THD.** La distorsión armónica total (THD) se calcula como la relación entre el contenido de armónico de la señal y la componente fundamental según la Ecuación (1.1), donde  $A_1$  es la componente fundamental y  $A_K$ , el valor del armónico [3].

$$THD = \frac{1}{A_1} \sqrt{\sum_{K=1}^{\infty} A_K^2} \quad (1.1)$$

- **RMS.** El valor eficaz (en inglés, *Root Mean Square*) es una medida de la energía existente que se expresa en función del periodo y de la señal eléctrica. Viene definida por la Ecuación (1.2), siendo el periodo la inversa de la frecuencia fundamental.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^T f(t)^2 dt} \quad (1.2)$$

- **Falta.** Una falta es una avería en el sistema eléctrico debida, o bien a un fallo de aislamiento (origina un cortocircuito), o bien a la interrupción del paso de corriente al abrirse el circuito. El fallo de aislamiento puede deberse a una sobretensión o la degradación del propio aislamiento del cable, entre otros. Existen distintos tipos de faltas que pueden darse simultáneamente en diferentes puntos de la red: fase a tierra, fase-fase, tres fases o tres fases y a tierra.
- **Flicker.** También llamado parpadeo, es la variación del valor eficaz de la tensión en un rango del  $\pm 5$  % de la tensión nominal.
- **Armónicos.** Son las ondas senoidales de frecuencia múltiplo de la fundamental en las que se puede descomponer la señal. Cada múltiplo de la onda fundamental se conoce como orden del armónico [4].

### 1.4.2. Sistemas eléctricos

Los elementos que componen una micro red se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- [1.4.2.1](#) Sistemas de generación distribuida.

- 1.4.2.2 Sistemas de almacenamiento de energía.
- 1.4.2.3 Cargas conectadas a la micro red.

#### 1.4.2.1. Sistemas de generación distribuida

La generación distribuida en una micro red consiste en generar energía eléctrica mediante muchas fuentes de energía de pequeño tamaño instaladas cerca de los puntos de consumo. Dicho sistema se basa en la cooperación de esta microgeneración y la generación de las centrales convencionales [5]. Sus características principales son:

- Empleo de fuentes de origen renovable.
- Mejora de la seguridad y la calidad del sistema eléctrico.
- Menores potencias instaladas.
- Disminución de las pérdidas de la red, ya que las fuentes de producción de energía se ubican próximas a los puntos de consumo.

La obtención de la energía necesaria para abastecer a los consumidores puede proceder tanto de fuentes de energía renovables como no renovables. La energía renovable se extrae de recursos naturales e ilimitados, que se dividen en diferentes tipos según la materia prima empleada para su generación:

- **Energía eólica.** Mediante el uso de aerogeneradores, que aprovechan la velocidad del viento para obtener energía eléctrica.
- **Energía solar.** A través de los rayos de luz que inciden sobre los paneles solares, se consigue energía eléctrica al transformar dicha radiación solar incidente.
- **Energía mareomotriz.** Se obtiene electricidad a partir del movimiento de las mareas. También se puede extraer energía procedente de las olas para generar electricidad (energía undimotriz).
- **Energía geotérmica.** Se emplea la energía dada por las altas temperaturas alcanzadas en el interior de la tierra para conseguir electricidad.
- **Biomasa.** A partir de la combustión de residuos de origen animal y vegetal, se obtiene energía eléctrica.

- **Energía hidráulica.** Se consigue electricidad de la transformación de la energía potencial producida por los saltos de agua.

En cuanto a las energías no renovables, éstas proceden de recursos limitados y no pueden reutilizarse. Algunos ejemplos son la energía nuclear o el uso de combustibles fósiles para la producción de energía.

#### 1.4.2.2. Sistemas de almacenamiento de energía

La energía eléctrica puede ser generada mediante diferentes mecanismos, transportada a través de la red y consumida por los usuarios. Sin embargo, dicha energía no puede ser almacenada indefinidamente. En muchas ocasiones, la generación de energía no se corresponde con la demanda, o viceversa. Por tanto, es necesario guardar la energía sobrante en las horas de menor consumo para suministrarla cuando la energía generada no sea capaz de satisfacer la demanda. Por este motivo, existen diferentes sistemas de almacenamiento de energía, descritos a continuación:

- **Aire comprimido.** Este sistema emplea la energía de compresión asociada al aire presurizado contenido en depósitos subterráneos. El almacenamiento se realiza comprimiendo el aire durante horas valle. Durante las horas punta, el aire comprimido se utiliza para producir potencia al expandirlo en una turbina de gas [6].
- **Almacenamiento térmico.** Se almacena la energía en sal fundida para generar electricidad por la noche, cuando no se produce a partir de la energía solar.
- **Baterías.** En ellas, se almacena o se libera la energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones a los electrodos (ánodo y cátodo), conectados por un electrolito para llevar a cabo reacciones específicas de reducción/oxidación [6].
- **Bombeo de agua.** Se bombea agua al depósito en horas de baja demanda y, en horas punta, el agua depositada se utiliza para generar electricidad.
- **Hidrógeno.** La energía se almacena produciendo hidrógeno, a partir del reformado de gas natural, o por electrólisis del agua, en horas valle y se libera en horas punta generando electricidad con alguna celda de combustible [6].
- **SMES (Almacenamiento de Energía en Superconductores Magnéticos).** Almacenan energía electromagnética mediante la circulación de corriente continua a través de bobinas superconductoras. Dicha energía se devuelve posteriormente a la red, descargando la bobina [6].

- **Supercondensadores.** Se basan en encerrar cargas electrostáticas en su interior que, al crear un campo magnético, generen la energía eléctrica a almacenar. Dichos dispositivos son capaces de cargarse y descargarse relativamente en poco tiempo, pudiendo atender picos de demanda.
- **Volantes de inercia.** Un disco pesado que rota es acelerado por un motor eléctrico, que retrasa el disco y produce electricidad. La energía se almacena en forma de energía cinética [6]. Es importante resaltar la necesidad de disminuir la fricción para poder almacenar la energía el mayor tiempo posible.

#### 1.4.2.3. Cargas conectadas a la micro red

Aunque en las micro redes pueden conectarse multitud de cargas diferentes, desde centrales hasta viviendas, estas cargas pueden clasificarse atendiendo a la calidad de la energía que precisan:

- **Cargas críticas.** Necesitan un constante suministro de energía fiable y de elevada calidad. Entre ellas se encuentran las fábricas o los hospitales.
- **Cargas no críticas.** Necesitan energía eléctrica, pero no tiene que ser de alta calidad obligatoriamente. Este es el caso de las cargas de carácter residencial.

Diferenciar estas cargas es fundamental a la hora de dimensionar una micro red porque si en un momento dado no hay suficiente energía para abastecer a todas las cargas conectadas, se suplirá antes la demanda de las cargas críticas.

#### 1.4.3. Simulink

Simulink es un entorno en el que, mediante el uso de bloques, permite diseñar diferentes sistemas y simularlos, todo ello sin necesidad de emplear códigos. Abarca desde circuitos eléctricos básicos hasta complejos sistemas mecánicos. Gracias al diseño de esta interfaz, se pueden obtener resultados tanto en formato numérico como gráfico, representando señales analógicas, digitales o multifrecuencia.

Asimismo, se puede mejorar la eficiencia del diseño creado empleando herramientas específicas dadas por Simulink. También desde el propio modelo se puede generar un código para realizar pruebas en tiempo real [7].

El modelo originado en Simulink puede enlazarse con una aplicación creada en el entorno de App designer, perteneciente también a MATLAB.

## 1.4.4. Transformada tiempo-frecuencia

### 1.4.4.1. Transformada de Fourier

La transformada de Fourier permite descomponer cualquier onda periódica de carácter no senoidal como la suma de varias ondas senoidales con una frecuencia única y distinta. Las frecuencias de estas señales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Así, se obtiene la amplitud de la señal para cada frecuencia. Por tanto trabaja en el dominio de la frecuencia, por lo que no permite situar la información en el tiempo.

A la transformada de Fourier se le puede aplicar una señal en forma de campana de Gauss que se desplaza a lo largo del tiempo y localiza las perturbaciones en el dominio del tiempo. Este método se conoce como transformada de Fourier de ventana abierta. Sin embargo, la información obtenida en el dominio del tiempo depende de la amplitud y está inversamente relacionada con la frecuencia; una señal de gran amplitud proporciona mucha información en frecuencia pero escasa en el dominio del tiempo mientras que una señal de poca amplitud ubica de forma precisa la información en el tiempo pero cuenta con una resolución muy pobre en lo que a frecuencia se refiere.

### 1.4.4.2. Condición de Nyquist

Establece que una señal muestreada puede reconstruirse a su forma original si la frecuencia de muestreo es superior al doble de la frecuencia más elevada presentada por la señal. Es decir, no se obtiene información de la señal a frecuencias superiores a la mitad de la frecuencia de muestreo.

Es fundamental considerar dicha condición a la hora de realizar la transformada de Fourier, así como otras transformadas tiempo-frecuencia.

### 1.4.4.3. Transformada de Wavelet

Es una transformada en el dominio de la frecuencia en la que, además de conseguir la amplitud de la señal para cada frecuencia, permite situar la perturbación en el tiempo a partir de la aplicación de una señal conocida como *wavelet*.

Dicha señal, cuyo nombre procede del francés *ondelette* (onda pequeña), se ajusta de forma apropiada para proporcionar la información en el dominio del tiempo de forma precisa. La señal *wavelet* es una función que debe cumplir las siguientes características:

1. Es una función que oscila a lo largo del tiempo.
2. Tiene un valor medio nulo (su integral es cero).
3. Tiende a cero.

En la actualidad, existen multitud de señales que cumplen estas condiciones. Entre ellas, se encuentran Haar, Daubechies, Coiflets, Beylkin o Symlets. En este método, se descompone la señal en una señal de paso bajo (nivel de aproximación) y otra de paso alto (nivel de detalle), con la mitad de la longitud de la señal original. Con cada nivel, se subdivide la señal de paso bajo en otras dos señales y así sucesivamente. En cada nivel, la frecuencia se reduce a la mitad.

# Capítulo 2

## Modelado de la micro red

La micro red trifásica a estudiar consta de distintos bloques, conectados entre sí, que recogen los distintos elementos a considerar. Concretamente, tiene los siguientes bloques: la red de carácter trifásica, la impedancia de la línea, los elementos de medida y las cargas conectadas al sistema (la central eólica y la fábrica). Dicha micro red se ha modelado a una frecuencia de 50 Hz en Simulink y se muestra en la Figura 2.1.

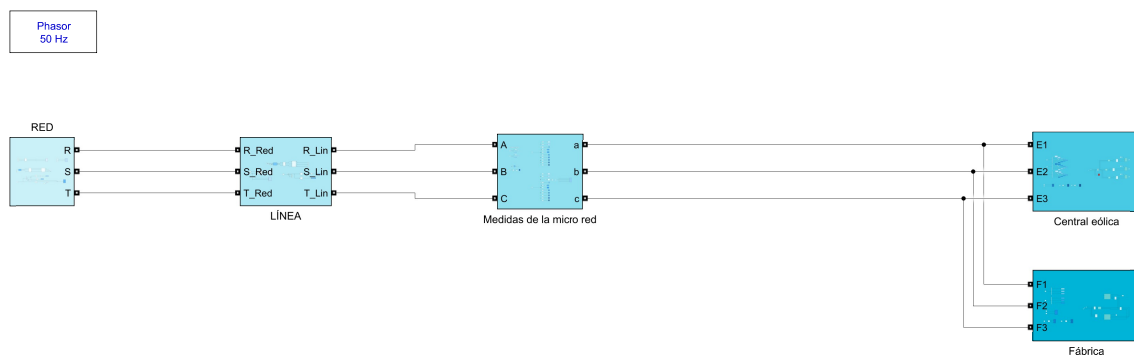


Figura 2.1: Modelo de micro red.

La micro red representada se encuentra a una tensión de 132 KV que, posteriormente, disminuirá mediante el empleo de transformadores para poder alimentar las diferentes cargas conectadas a la red. En todos y cada uno de los bloques que componen la micro red se disponen de aparatos de medida para controlar la calidad de la señal.

Asimismo, se realiza la transformada Wavelet de las tensiones y corrientes producidas aguas arriba de las cargas para obtener las perturbaciones producidas.

El modelo objeto de estudio (2.1) se acciona mediante una aplicación que permite cambiar el tiempo de parada de la simulación, así como la producción de faltas en el sistema eléctrico.

## 2.1. La red trifásica

El subsistema creado para el modelado de la red (Figura 2.2) se compone de un generador trifásico de 132 KV, un transformador, que disminuye la tensión a 50 KV y un aparato de medida, que extrae el valor de las tensiones e intensidades de línea que circulan por la red.

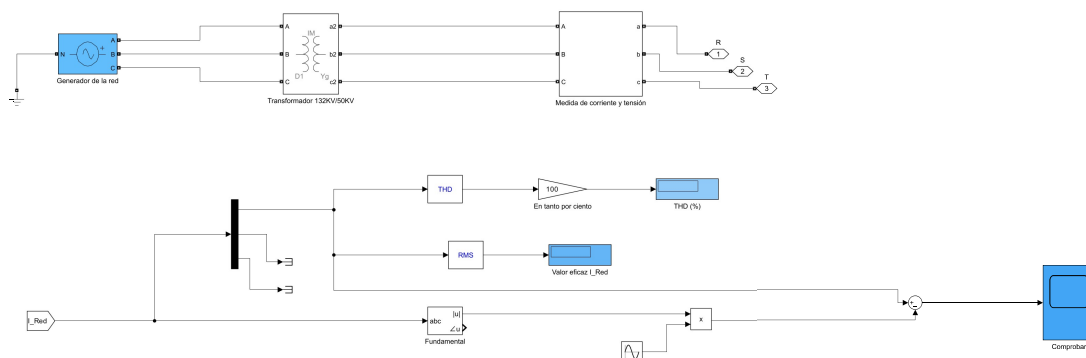


Figura 2.2: Modelado de la red.

Asimismo, se cuantifican las potencias de la red (tanto la potencia activa como reactiva), mostrando los resultados en una gráfica. También se representan las tensiones y corrientes de la red trifásica.

Por último, de la corriente de la red se obtiene el valor eficaz, la distorsión armónica (en tanto por ciento) y la variación de la respuesta con respecto a una onda senoidal.

## 2.2. La línea trifásica

La línea proyectada en la Figura 2.3 tiene una longitud total de 15 kilómetros. Además de la propia impedancia de la línea, consta de un transformador para re-

ducir la tensión a 25 KV y de un aparato de medida, que obtiene las tensiones e intensidades que circulan por la impedancia correspondiente.

La impedancia de la línea consta de una resistencia, una bobina y un condensador. Cada uno de estos elementos tiene dos valores; uno para la secuencia cero y otro distinto para la secuencia positiva. Dichos valores se muestran en la Figura 2.4.

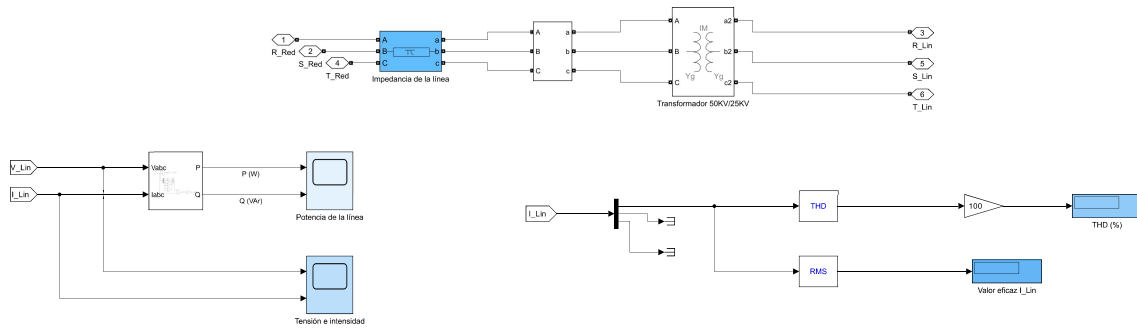


Figura 2.3: Modelado de la línea.

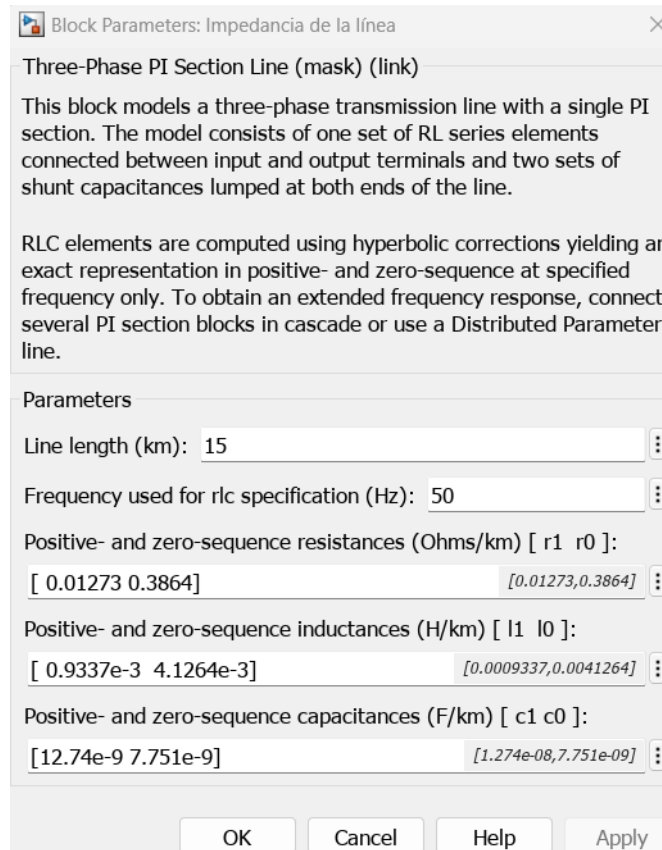


Figura 2.4: Impedancia de la línea.

De dicha línea, se obtienen la potencia activa y reactiva, el valor eficaz de la corriente y el porcentaje de distorsión armónica de la intensidad. También se muestran las tensiones e intensidades de línea correspondientes.

## 2.3. Medidas de la red

Aguas abajo de la impedancia de la línea y el transformador, se coloca un aparato para medir tanto la tensión como la corriente que circula en el tramo previo a las cargas del sistema, tal y como se muestra en la Figura 2.5.

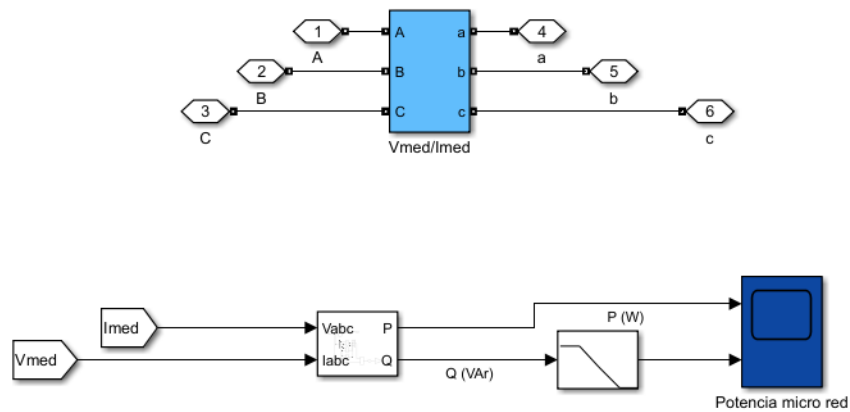


Figura 2.5: Aparato de medida en la micro red.

Además, se dispone un equipo para obtener la potencia y reactiva de la micro red. Antes de representar ambas potencias, se coloca un filtro de primer orden paso bajo en la potencia reactiva para mejorar la respuesta.

Asimismo, dentro de este subsistema se realizan las mediciones pertinentes tanto para la tensión como para la corriente medida por el aparato mostrado en la Figura 2.5.

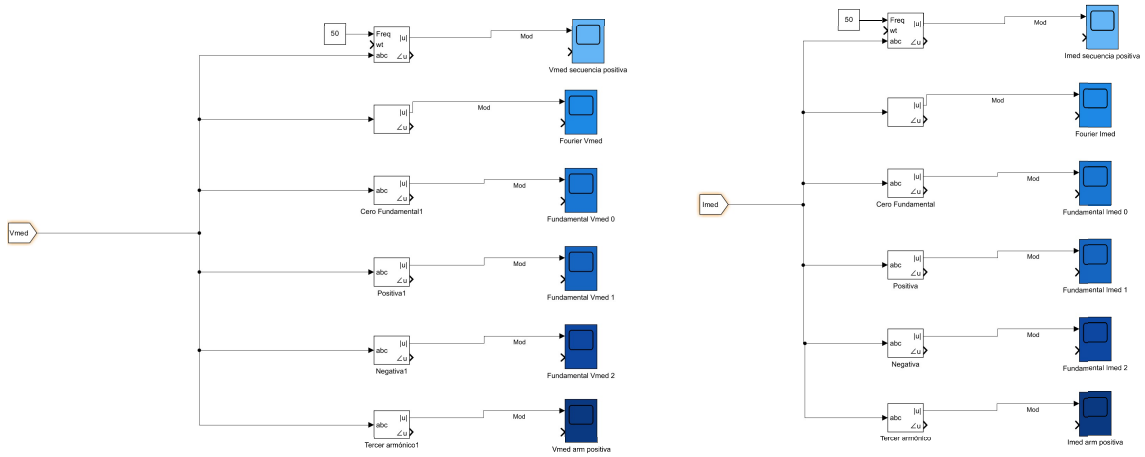


Figura 2.6: Medidas de tensión y corriente.

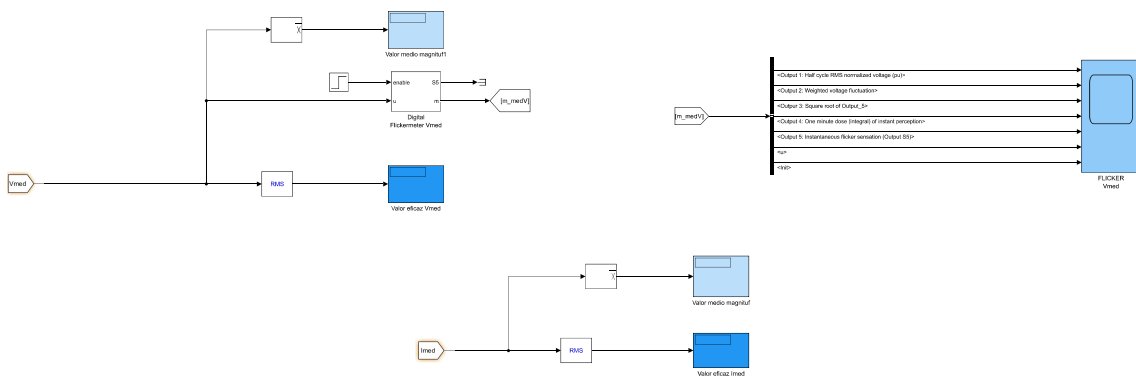


Figura 2.7: Valores medios y eficaces.

Por un lado, se obtienen los valores medios de la magnitud, el valor eficaz y una gráfica que representa los valores de los armónicos y las componentes fundamentales.

Dichos resultados se extraen a partir de los modelos de las Figuras 2.6 y 2.7. También se emplea un aparato digital para medir el flicker producido a partir de la tensión medida, que viene configurado en la Figura 2.8. Con él, se representan distintos valores como la fluctuación de la tensión y la tensión de medio ciclo en p.u., entre otros.

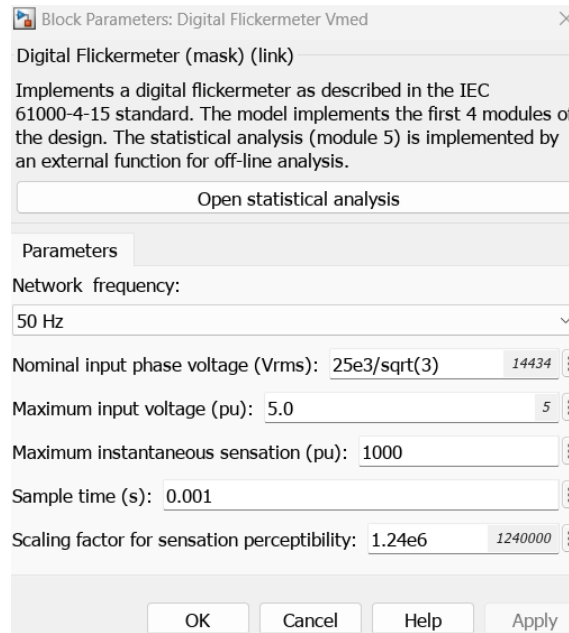


Figura 2.8: Configuración del bloque flickermeter.

#### PARA HACER LA TRANSFORMADA DE WAVELET

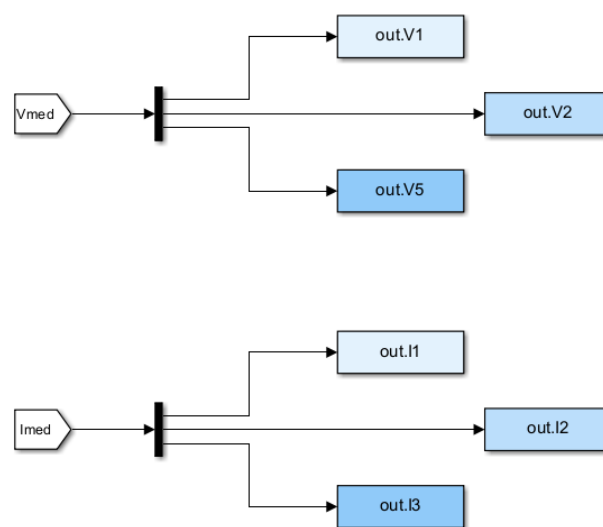


Figura 2.9: Tensiones e intensidades.

Por último, se han cargado tanto las tensiones como las corrientes producidas al workspace de MATLAB para poder calcular la transformada de Wavelet en el entorno de MATLAB. Esto se consigue a partir del bloque *simout* de Simulink, tal y como se muestra en la Figura 2.9. Este subsistema se dispone de igual forma tanto en la central eólica como en la fábrica, para detectar perturbaciones en caso de falta.

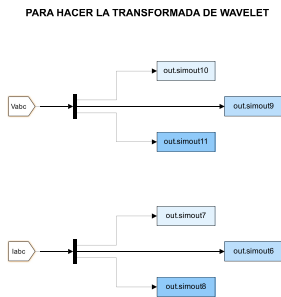


Figura 2.10: Central.

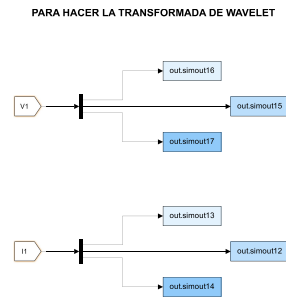


Figura 2.11: Fábrica.

Figura 2.12: Modelo Wavelet.

## 2.4. Cargas conectadas

En la micro red sólo hay dos cargas conectadas; una central eólica y una fábrica, descritas a continuación.

### 2.4.1. Central eólica

La central eólica consta de seis aerogeneradores de 2 MW cada uno, representados mediante tres bloques de 4 MW en Simulink. El modelo empleado se muestra en la Figura 2.13.

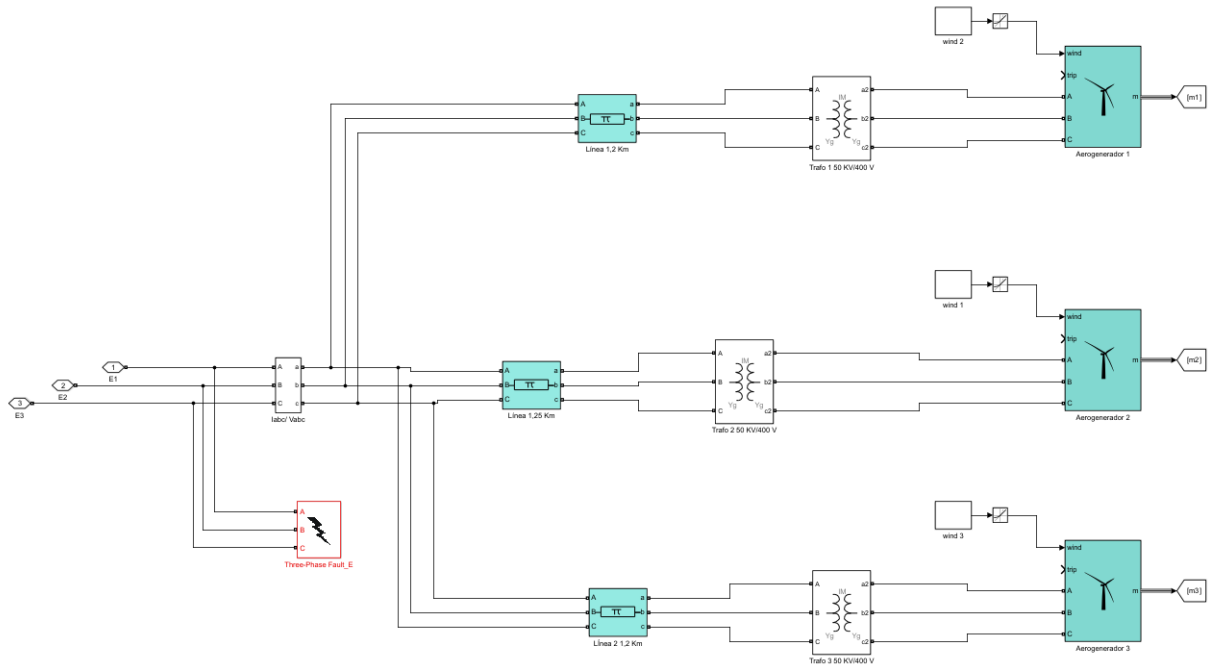


Figura 2.13: Central eólica.

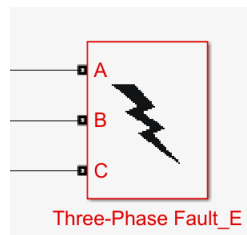


Figura 2.14: Three-Phase Fault.

El modelo de la central cuenta también con impedancias de línea y transformadores para disminuir la tensión a 400 V. Las impedancias de la línea tienen una longitud de 1.2 Km, 1.25 Km y 1.2 Km, respectivamente. También se instala un bloque en color rojo llamado *Three-Phase Fault* para ocasionar las faltas en las distintas fases, además de controlar el tiempo en el que se producen (Figura 2.14).

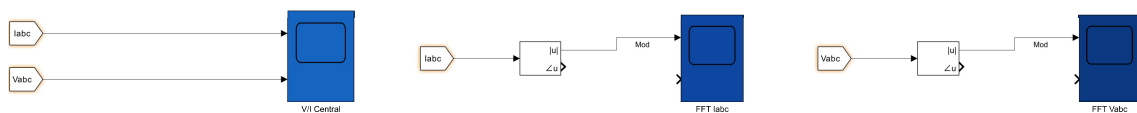


Figura 2.15: Medidas en la central.

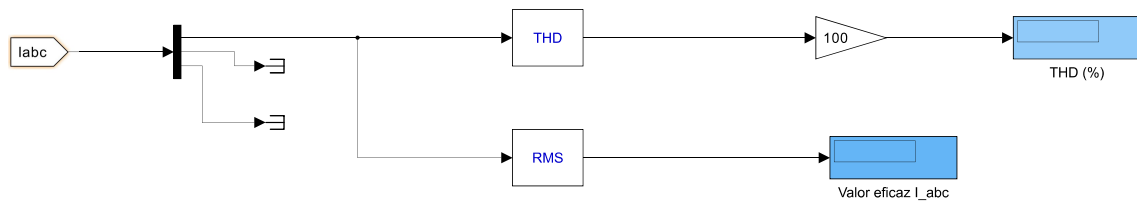


Figura 2.16: THD.

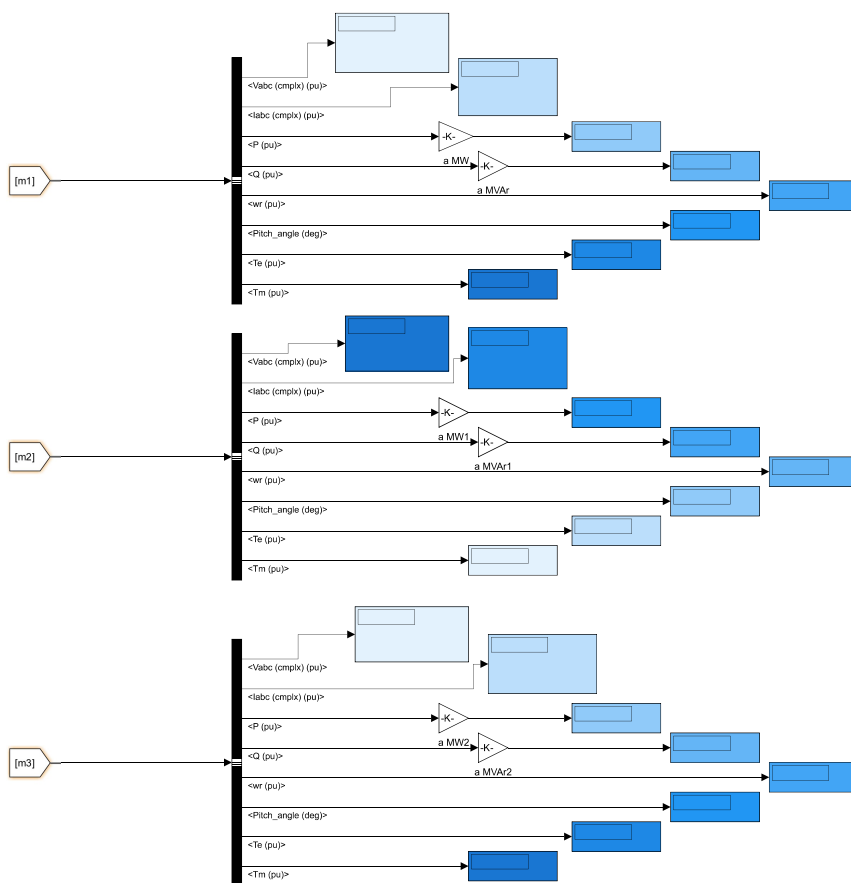


Figura 2.17: Medidas de los aerogeneradores.

En cuanto a las medidas, se coloca aguas arriba de la instalación un aparato de medida que obtiene las tensiones y corrientes. Con estos valores, se calculan

las transformadas de Fourier correspondientes, como se muestra en la Figura 2.15. También se obtiene tanto la distorsión armónica como el valor eficaz de la corrientes (2.16).

Asimismo, de cada uno de los bloques que representan los aerogeneradores se obtienen los valores dados en la Figura 2.17. Se proporciona la potencia activa y reactiva, entre otros valores.

### 2.4.2. Fábrica

La fábrica conectada a la micro red posee dos máquinas síncronas de iguales características, ambos de 25 KV y 200 MVA. Además, en el modelo aparece un bloque para producir faltas (representada en la Figura 2.14), un aparato para medir tensiones e intensidades y, por último, la impedancia de la línea de 0,8 kilómetros de longitud. Dicho modelo se expone en la Figura 2.18.

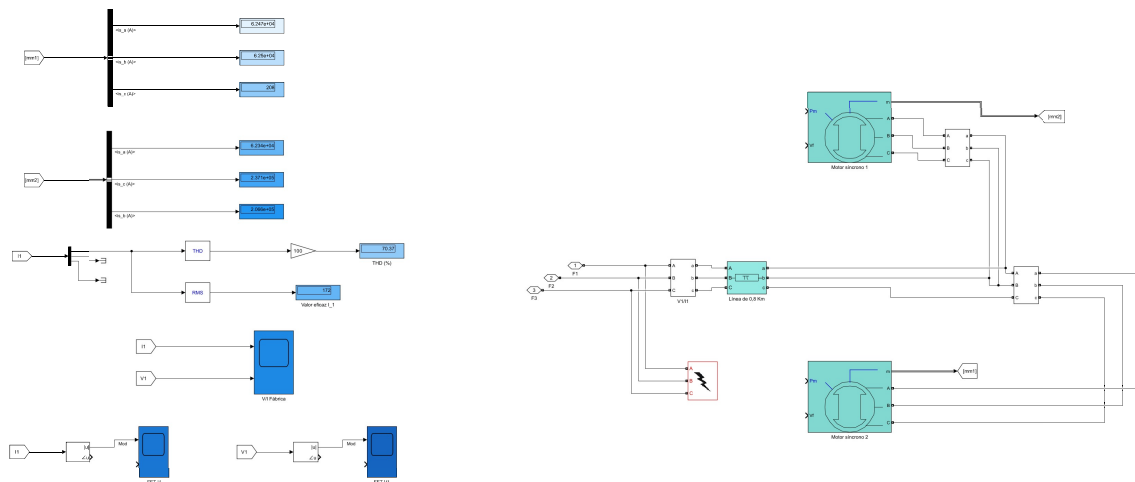


Figura 2.18: Modelo de la fábrica.

Al igual que en el modelado de la central eólica (Figura 2.15), se disponen los bloques necesarios para calcular la transformada de Fourier tanto de la tensión como de la corriente, además de representar tensiones e intensidades.

De cada máquina, se extraen los valores de las corrientes en cada fase del estator,

tal y como se muestra en el margen superior izquierdo de la Figura 2.18.

## 2.5. Aplicación

El modelo de la micro red descrito en la Figura 2.1 se controla mediante una aplicación diseñada en *App designer*, en MATLAB. Con ella, se puede modificar el tiempo de parada de la simulación y los dos bloques insertados para producir faltas, ubicados en la central eólica y en la fábrica (Figura 2.14).

En concreto la aplicación, mostrada en la Figura 2.19, permite modificar tanto la fase en la que se produce la falta (Fase A, Fase B, Fase C y Tierra, o varias a la vez). Además, también permite cambiar tanto el tiempo de inicio de la falta como su fin.

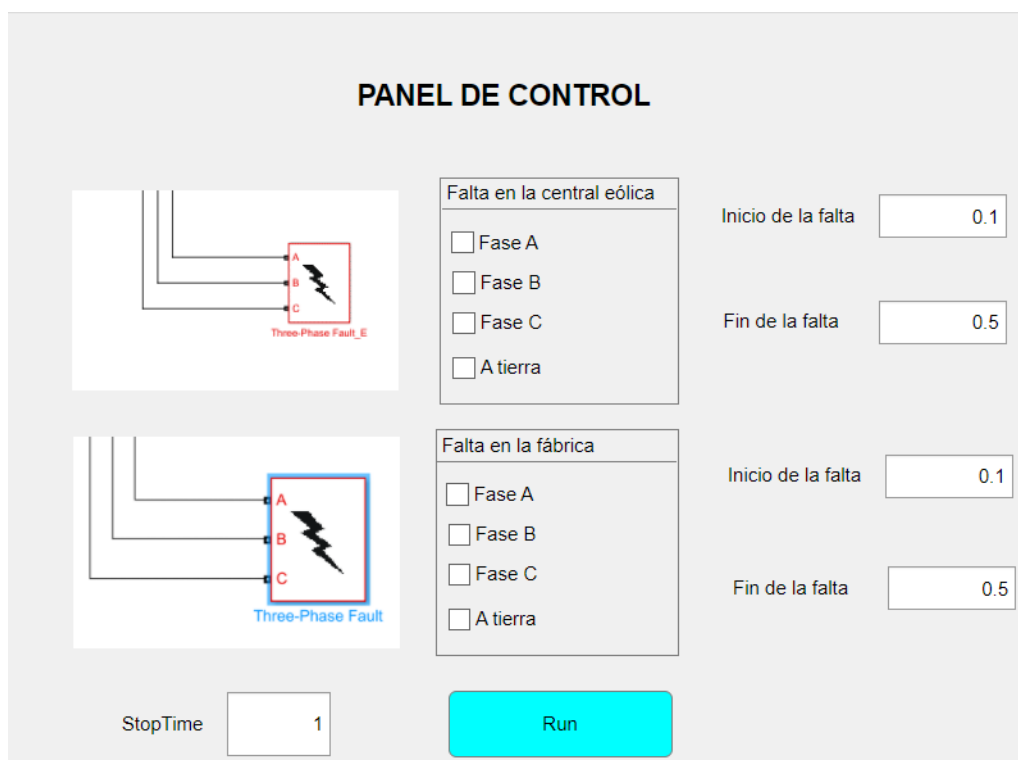


Figura 2.19: Aplicación.

Dicha aplicación se ha programado empleando las funciones *assign* y *set param*. La primera de ellas permite asignar un valor dado por el usuario con una variable descrita en Simulink (esta valor se guarda en el workspace de MATLAB); la segunda permite modificar el valor de una variable dentro del modelo creado (Figura 2.20).

```
function RunButtonPushed(app, event)
% Damos nombre a los datos (para simplificar)
T1 = app.IniciodelafaltaEditField.Value;
T2 = app.FindelafaltaEditField.Value;
T3 = app.IniciodelafaltaEditField_2.Value;
T4 = app.FindelafaltaEditField_2.Value;
Tr = app.StopTimeEditField.Value;

% Abrimos el modelo de Simulink
model = 'Micro_red';
open_system(model);
%in = Simulink.SimulationInput(model);
% Asignamos los valores a las variables correspondientes
assignin('base','T1',T1);
assignin('base','T2',T2);
assignin('base','T3',T3);
assignin('base','T4',T4);
assignin('base','Tr',Tr);
```

Figura 2.20: Código para introducir los valores de tiempo.

```
% Central eólica

if app.FaseACheckBox.Value
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultA', 'on');
    %in = in.setVariable('FaultA',app.Button.Value);
else
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultA', 'off');
end

if app.FaseBCheckBox.Value
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultB', 'on');
    %in = in.setVariable('FaultA',app.Button.Value);
else
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultB', 'off');
end

if app.FaseCCheckBox.Value
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultC', 'on');
    %in = in.setVariable('FaultA',app.Button.Value);
else
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'FaultC', 'off');
end

if app.AtierraCheckBox.Value
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'GroundFault', 'on');
    %in = in.setVariable('FaultA',app.Button.Value);
else
    set_param([gcs,'/Central eólica/Three-Phase Fault_E'],'GroundFault', 'off');
end
```

Figura 2.21: Selección de falta en la central eólica.

Para poder alterar los bloques que controlan la producción de faltas según la elección del usuario, se definen diferentes casos para cada una de las diferentes opciones planteadas. Dicho código se muestra en la Figura 2.21 para el caso de la central

eólica. De forma análoga se precisa el mismo código para la fábrica, cambiando sólo */Central eólica/..* por */Fábrica/...*

Seguidamente, se ha concretado una condición para avisar al usuario en el caso de escoger un tiempo de inicio de la falta superior al tiempo de parada de la simulación. Se realiza dicha acción con el fin de poder escoger otro valor que le permita notar los cambios producidos por la falta. Estas condiciones, establecidas para ambos bloques, se muestran en la Figuras 2.22 y 2.23.

```
% Value changed function: IniciodelafaltaEditField
function IniciodelafaltaEditFieldValueChanged(app, event)
    T1 = app.IniciodelafaltaEditField.Value;
    R = app.StopTimeEditField.Value;
    if T1 >= R
        errordlg('La falta debe producirse en el tiempo de simulación','ERROR','modal');
    end
end
```

Figura 2.22: Mensaje de aviso en la central eólica para el usuario.

```
% Value changed function: IniciodelafaltaEditField_2
function IniciodelafaltaEditField_2ValueChanged(app, event)
    T3 = app.IniciodelafaltaEditField_2.Value;
    R = app.StopTimeEditField.Value;
    if T3 >= R
        errordlg('La falta debe producirse en el tiempo de simulación','ERROR','modal');
    end
end
```

Figura 2.23: Mensajes de aviso en la fábrica para el usuario.

## 2.6. Transformada Wavelet

Se aplica un análisis wavelet tanto a las tensiones como a las corrientes medidas por el aparato localizado en el subsistema *Medidas de la red* (2.3), en el bloque *Central eólica* y en el bloque *Fábrica*. Dicha medidas se extraen del modelo creado a través del bloque *To Workspace* para cada caso, tal y como se muestra en la Figuras 2.9, 2.24 y 2.25. Estas señales se representan en MATLAB para poder posteriormente comparar dichas respuestas con las proporcionadas por el análisis a efectuar.

El usuario podrá elegir el conjunto de señales que quiere estudiar, como se muestra en el código de la Figuras 2.24 y 2.25.

```

disp(' ')
disp('Introducir:')
disp('1 para bloque MEDIDAS')
disp('2 para bloque CENTRAL EÓLICA')
disp('3 para bloque FÁBRICA')
m = input('Introduzca la eleccion de su dato inicial: 1,2 o 3 ');

```

Figura 2.24: Elección.

```

if m==1
% Intensidades
I1 =out.simout;
I2 =out.simout1;
I3 =out.simout2;
% Tensiones
V1 = out.simout3;
V2 = out.simout4;
V3 = out.simout5;
elseif m==2
% Intensidades
I1 =out.simout7;
I2 =out.simout6;
I3 =out.simout8;
% Tensiones
V1 = out.simout10;
V2 = out.simout9;
V3 = out.simout11;
else
% Intensidades
I1 =out.simout13;
I2 =out.simout12;
I3 =out.simout14;
% Tensiones
V1 = out.simout16;
V2 = out.simout15;
V3 = out.simout17;
end

```

Figura 2.25: Opciones.

Figura 2.26: Menú.

```

% DESCOMPOSICIÓN WAVELET
w= 'db5';      %tipo de wavelet madre
n= 4;         %niveles

% Se descomponen las señales
[C1,L1]=wavedec(I1.Data,n,w);
[C2,L2]=wavedec(I2.Data,n,w);
[C3,L3]=wavedec(I3.Data,n,w);
[C4,L4]=wavedec(V1.Data,n,w);
[C5,L5]=wavedec(V2.Data,n,w);
[C6,L6]=wavedec(V3.Data,n,w);

```

Figura 2.27: Descomposición de las señales.

Después, se procede a descomponer las diferentes señales a partir de la función *wavedec*. Este comando lleva a cabo la descomposición wavelet a partir de la señal, el número de niveles en los que se descompone y el tipo de wavelet madre empleado. Los datos obtenidos se guardan en dos vectores; el vector  $C_n$  contiene los valores de los coeficientes obtenidos en cada descomposición realizada y el vector  $L_n$ , almacena el número de coeficientes de cada nivel y la longitud de la señal original.

En concreto, las señales se descomponen en cuatro niveles y se utiliza el tipo Daubechies de orden cinco; es decir, por cada nivel se obtienen cinco coeficientes.

Posteriormente, se reconstruyen las señales a partir de los coeficientes extraídos (Figura 2.27) mediante la función *wrcoef*. Como parámetros se introducen los vectores de datos  $C_n$  y  $L_n$ , el tipo de reconstrucción (aproximada o detallada), el tipo de wavelet empleado y el nivel a reconstruir. El código elaborado se muestra en la Figura 2.28.

```
% I1
A4=wrcoef('a',C1,L1,w,4);
D1=wrcoef('d',C1,L1,w,1);
D2=wrcoef('d',C1,L1,w,2);
D3=wrcoef('d',C1,L1,w,3);
D4=wrcoef('d',C1,L1,w,4);

figure
plot(A4), ylabel('magnitude'), xlabel('samples')
text(0,(max(ylim)-min(ylim))/2.5,'Aproximación','fontweight','bold');
grid on;
figure
subplot(4,1,1), plot(D1); ylabel('magnitude')
text(0,(max(ylim)-min(ylim))/2.5,'D1','fontweight','bold'); grid on;

subplot(4,1,2), plot(D2); ylabel('magnitude')
text(0,(max(ylim)-min(ylim))/2.5,'D2','fontweight','bold'); grid on;

subplot(4,1,3), plot(D3); ylabel('magnitude')
text(0,(max(ylim)-min(ylim))/2.5,'D3','fontweight','bold'); grid on;
subplot(4,1,4), plot(D4); ylabel('magnitude'), xlabel('samples')
text(0,(max(ylim)-min(ylim))/2.5,'D4','fontweight','bold'); grid on;
```

Figura 2.28: Reconstrucción de las señales y representación gráfica.

Por último, se representa gráficamente tanto la señal reconstruida aproximada como las señales descompuestas por niveles.



# Capítulo 3

## Resultados

Con el modelo explicado en el Capítulo 2, se realizan varias simulaciones para comparar el estado de la red ante diversas condiciones. En primer lugar, se efectúa una simulación en la que la red no presenta ningún problema; la red funciona en condiciones óptimas. Después se realizan diferentes pruebas cuando se producen faltas de diversa índole en la red, analizando los problemas que han podido surgir.

En todas estas simulaciones se ha empleado un tiempo de simulación de 1 segundo (el que proporciona la aplicación por defecto) para poder comparar la respuesta dada en cada caso para el mismo tiempo. El método de resolución elegido, dado por el bloque *powergui* de la Figura 2.1, es de tipo fasorial a la frecuencia de la red (50 Hz).

### 3.1. Funcionamiento normal de la red

En esta simulación, no se modifican ninguno de los parámetros controlados por la aplicación (Figura 2.20). Para estas condiciones, se recogen en primer lugar los valores de distorsión armónica y el valor eficaz de la corriente en cada uno de los bloques del modelo (Tablas 3.1 y 3.2).

Dato	Bloque	Valor
Distorsión armónica	Red	72,94 %
	Línea	73,56 %
	Central	72,04 %
	Fábrica	69,22 %

Tabla 3.1: THD. Simulación 1.

Dato	Bloque	Valor
Valor eficaz	Red	25,64 A
	Línea	23,67 A
	Central	126,7 A
	Fábrica	168,4 A

Tabla 3.2: Valor eficaz de la corriente. Simulación 1.

En cuanto al bloque denominado *Medidas de la red*, en él se obtienen los valores eficaces tanto de la tensión como de la corriente para cada una de sus fases, así como su valor medio. Estos datos se reflejan en las Tablas 3.3 y 3.4.

Dato	Corriente	Valor
Valor medio	Ia	44,44 A
	Ib	36,60 A
	Ic	45,12 A
Valor eficaz	Ia	46,92 A
	Ib	39,80 A
	Ic	47,59 A

Tabla 3.3: Valores medios y eficaces de la corriente. Simulación 1.

Dato	Tensión	Valor
Valor medio	Va	36280 V
	Vb	32690 V
	Vc	40340 A
Valor eficaz	Va	36280 V
	Vb	32690 V
	Vc	40340 V

Tabla 3.4: Valores medios y eficaces de la tensión. Simulación 1.

Al obtener los datos anteriores, se observa que para el caso de la corriente los valores medios y eficaces son diferentes mientras que para la tensión ambos valores son iguales. Además, los valores de tensiones y corrientes producidos en cada tramo de la red se representan gráficamente a continuación.

Asimismo, se ha seguido el mismo procedimiento para la obtención de la potencia activa como reactiva, mostrando en cada caso los resultados hallados.

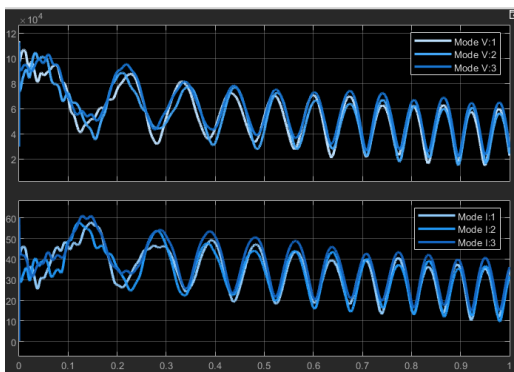


Figura 3.1: Red.

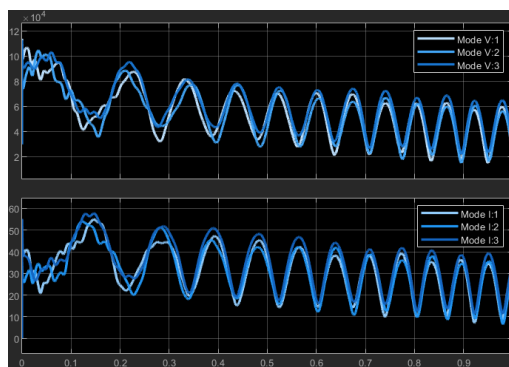


Figura 3.2: Línea.

Figura 3.3: Tensiones y corrientes.

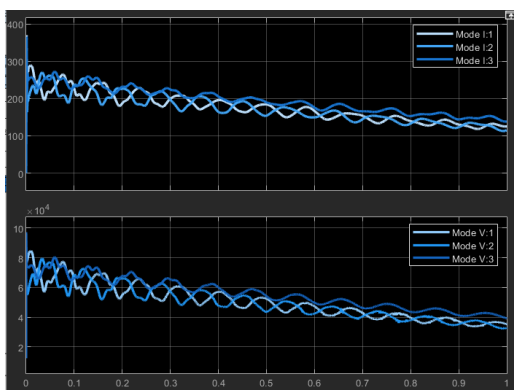


Figura 3.4: Central eólica.

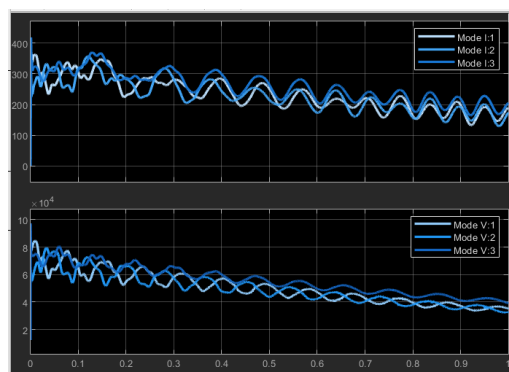


Figura 3.5: Fábrica.

Figura 3.6: Tensiones y corrientes.

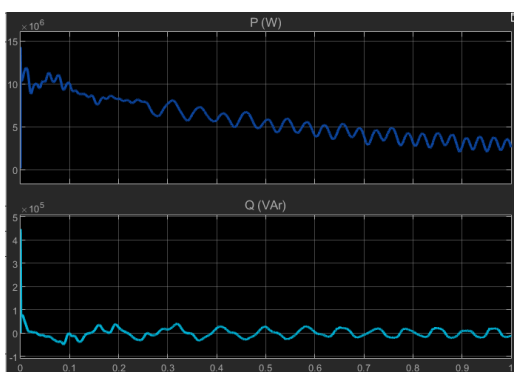


Figura 3.7: Red.

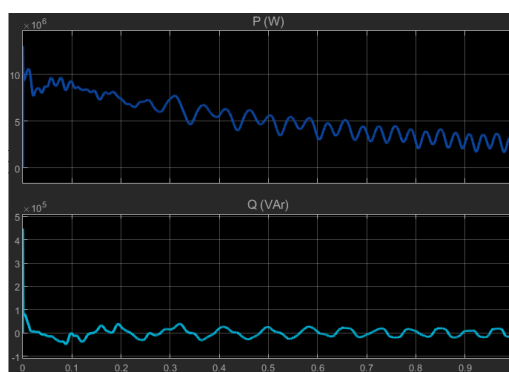


Figura 3.8: Línea.

Figura 3.9: Potencia activa y reactiva.

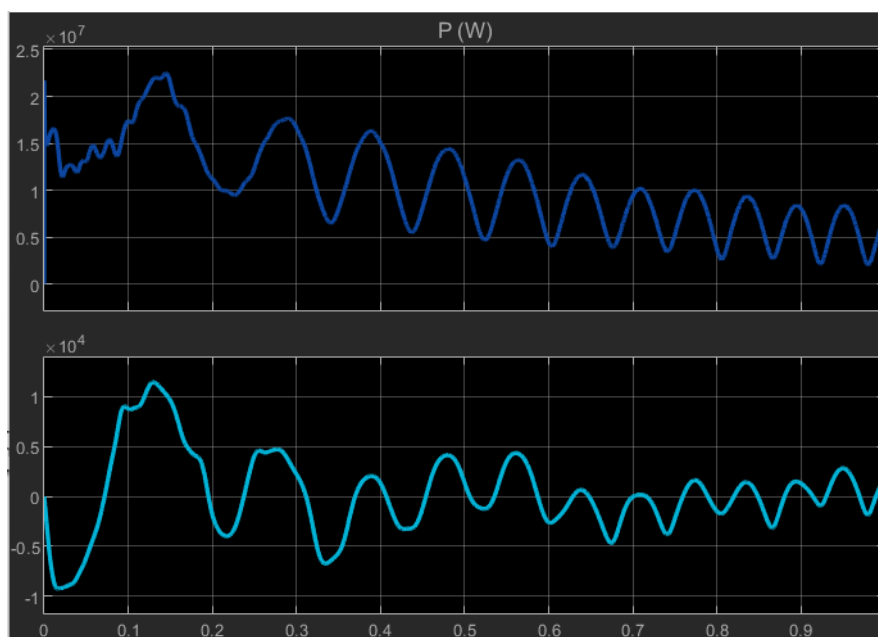


Figura 3.10: Potencia en el bloque de medidas.

Al observar con detenimiento las potencias, las tensiones y las corrientes representadas, se determina que el aparato de medida del bloque *RED* (Figuras 3.1 y 3.7) y el bloque *Línea* (Figuras 3.2 y 3.8) aportan la misma solución en todos los casos aunque el porcentaje de distorsión armónica sea ligeramente superior en la línea.

En cuanto a las tensiones e intensidades en las cargas conectadas, la respuesta hallada para la tensión es la misma en ambos casos mientras que la corriente difiere una respecto a la otra; la señal que representa la corriente tiene una mayor sobreoscilación en la fábrica.

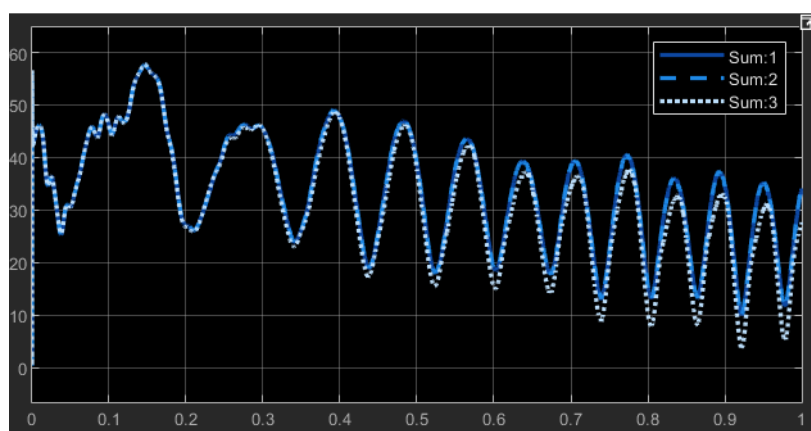


Figura 3.11: Comprobación de la señal.

Asimismo, se ha comparado la corriente al inicio de la micro red con una función senoidal para ver si la señal extraída es una onda senoidal pura o, en cambio, tiene algún contenido de armónico. Dicho cálculo se representa gráficamente en la Figura 3.11, donde se observa una ligera desviación a partir de los 0.5 segundos.

También se ha calculado la componente fundamental de la tensión y la corriente en secuencia cero, secuencia positiva y secuencia negativa, además del tercer armónico. Como los aparatos de medida sólo aportan el módulo de tensiones y corrientes, no se va a obtener resultado alguno con respecto a la fase. Las gráficas figuran a continuación.

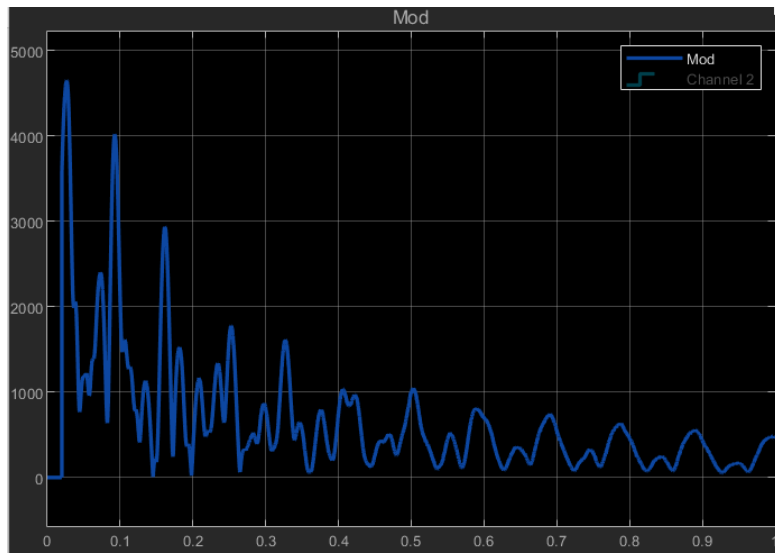


Figura 3.12: Tensión en secuencia cero.

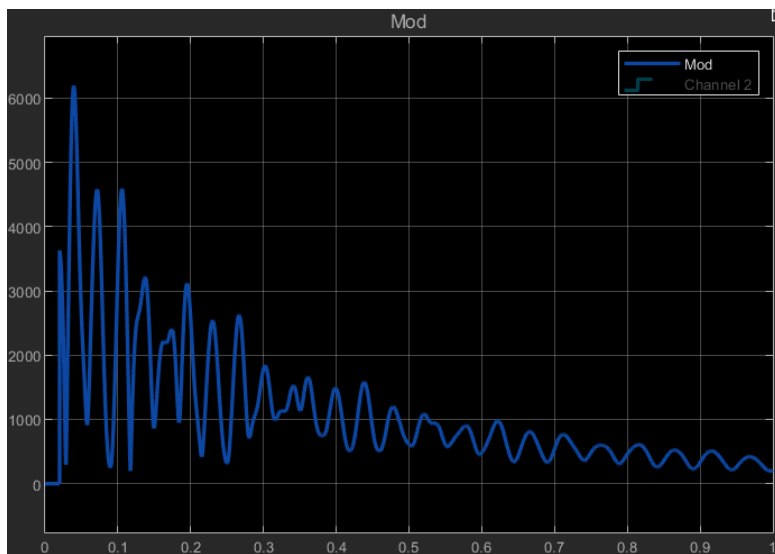


Figura 3.13: Tensión en secuencia positiva.

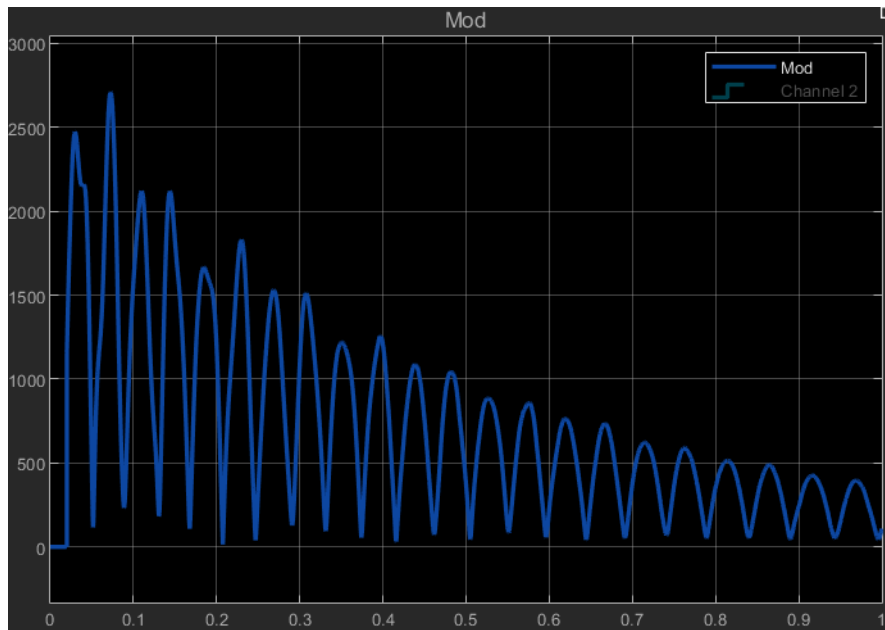


Figura 3.14: Tensión en secuencia negativa.

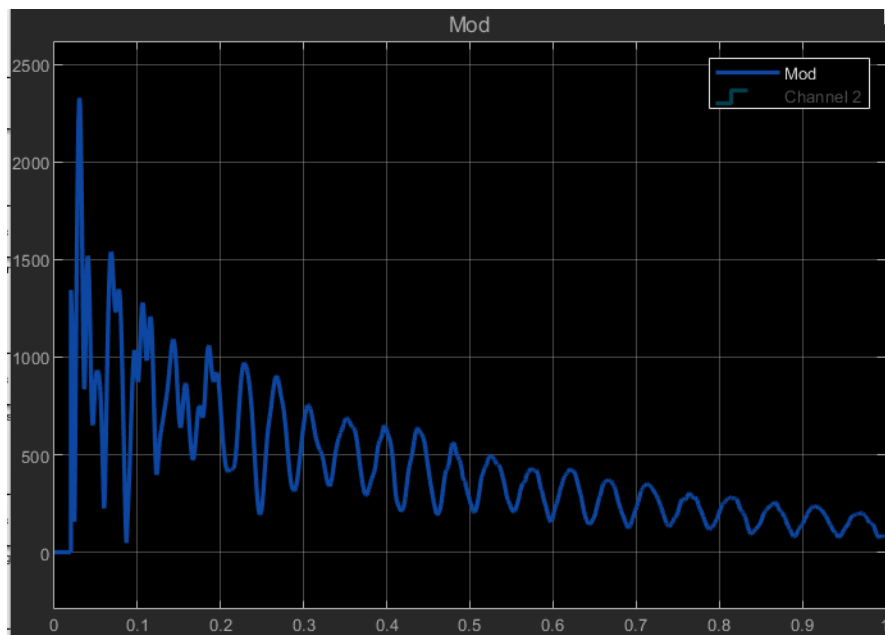


Figura 3.15: Tercer armónico de la tensión.

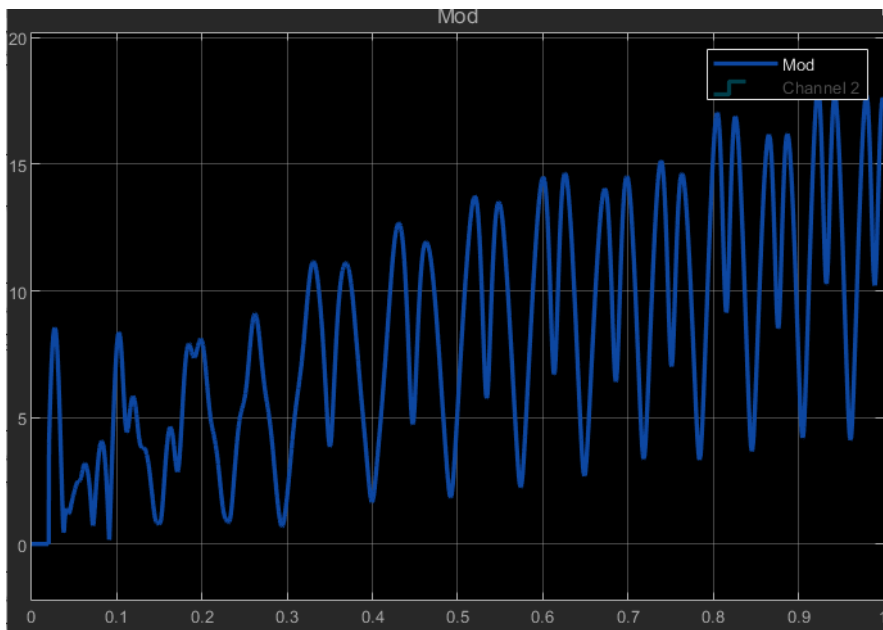


Figura 3.16: Intensidad en secuencia cero.

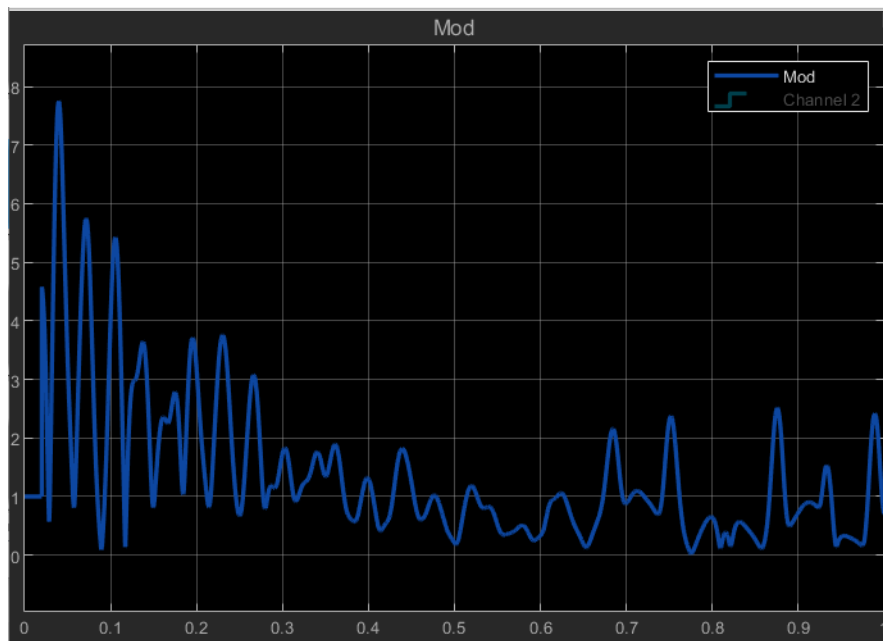


Figura 3.17: Intensidad en secuencia positiva.

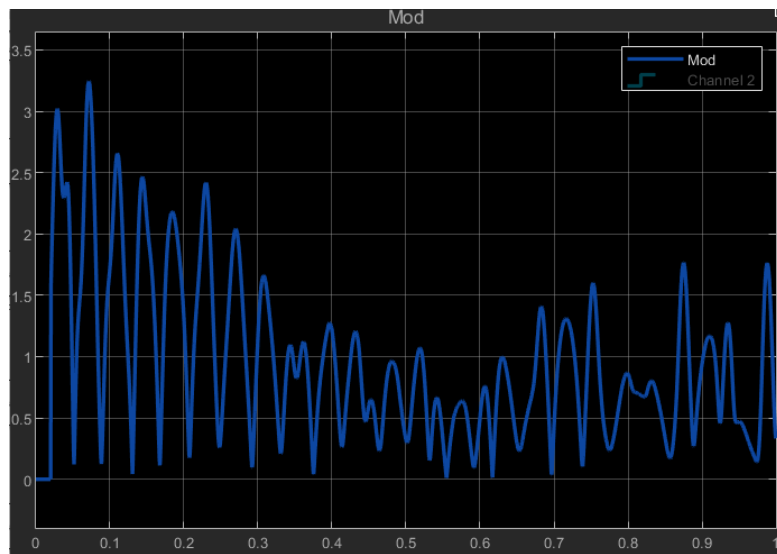


Figura 3.18: Intensidad en secuencia negativa.

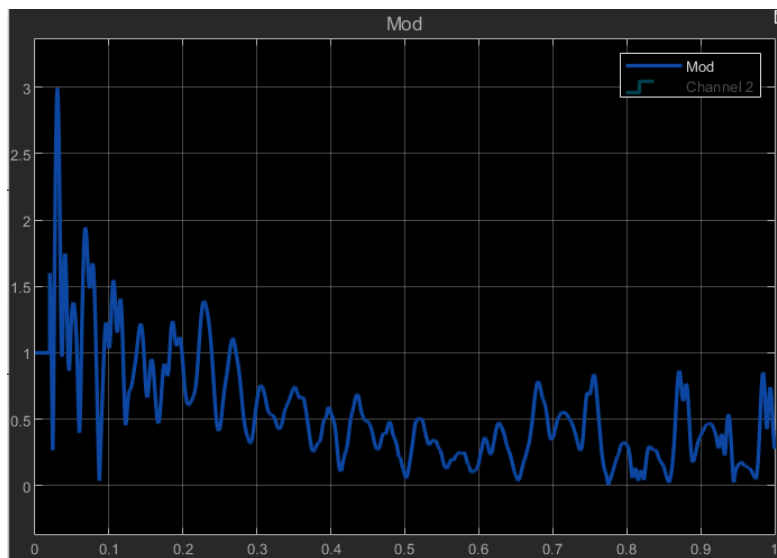


Figura 3.19: Tercer armónico de la corriente.

### 3.1.1. Central eólica

De la central eólica, se ha obtenido de cada bloque de aerogeneradores instalados (véase Figura 2.13) información acerca de la potencia producida y las tensiones y corrientes dadas en p.u (valor con parte real e imaginaria). Dichos datos se recogen en las Tablas 3.5 y 3.6.

Dato	Bloque 1	Valor	Bloque 2	Valor	Bloque 3	Valor
Tensiones	Va	-0.0008-0.13i	Va	-0.003-0.06i	Va	0.05+0.2i
	Vb	-0.12 + 0.047i	Vb	-0.05+0.02i	Vb	-0.03+0.03i
	Vc	0.12+0.0084i	Vc	0.05+0.04i	Vc	-0.019 - 0.05i
Corrientes	Ia	-0.56 + 0.11i	Ia	-0.28+0.005i	Ia	0.15-0.28i
	Ib	0.26+0.45i	Ib	0.13+0.23i	Ib	0.12+0.23i
	Ic	0.29-0.56i	Ic	0.14-0.28i	Ic	-0.29+0.04i

Tabla 3.5: Valores de tensión y corriente en la central eólica.

Dato	Bloque	Valor
Potencia activa	P1	0.05262 MW
	P2	0.01694 MW
	P3	-0.01083 MW
Potencia reactiva	Q1	-0.3475 MVar
	Q2	-0.08214 MVar
	Q3	-0.0714 MVar

Tabla 3.6: Potencias en la central eólica.

Además, se ha realizado la transformada de Fourier tanto a la tensión como a la corriente en módulo. En el eje de abscisas se representa el tiempo de simulación mientras que en el eje de ordenadas se muestra el valor de la tensión o corriente. Los resultados correspondientes se muestran en las Figuras 3.20 y 3.21. Ambas respuestas tiene una forma parecida pero la amplitud del módulo de la corriente es muy elevado con respecto al módulo de la tensión.

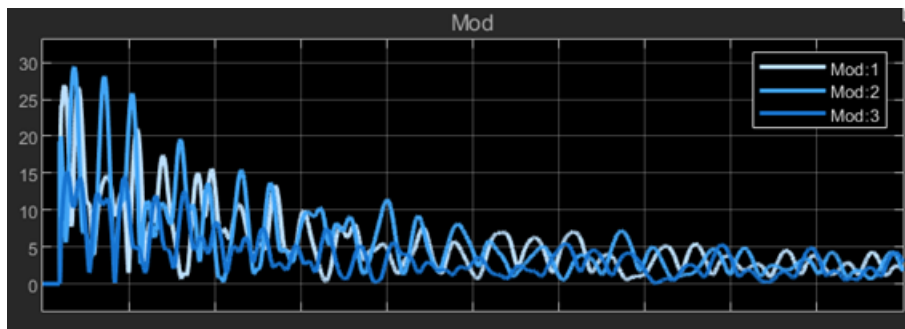


Figura 3.20: Transformada de Fourier de la corriente de la central eólica.

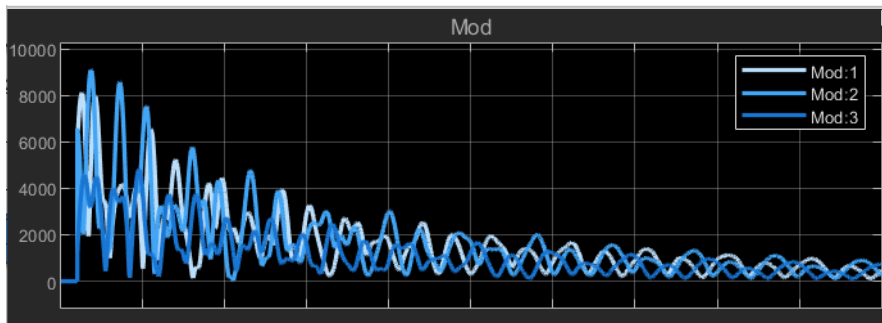


Figura 3.21: Transformada de Fourier de la tensión de la central eólica.

### 3.1.2. Fábrica

En el caso de la fábrica, se calcula la transformada de Fourier tanto del módulo de la corriente como del de la tensión. En el eje de abscisas se representa el tiempo de simulación mientras que en el eje de ordenadas se muestra el valor de la tensión o corriente. Para esta carga no se disponen de datos acerca de la fase, por lo que no se tiene en cuenta. Ambas gráficas se disponen en las Figuras 3.22 y 3.23. Con esta solución, se observa que el mayor valor es de 40 A para la corriente y de 9000 V para la tensión, producidos al inicio de la simulación.

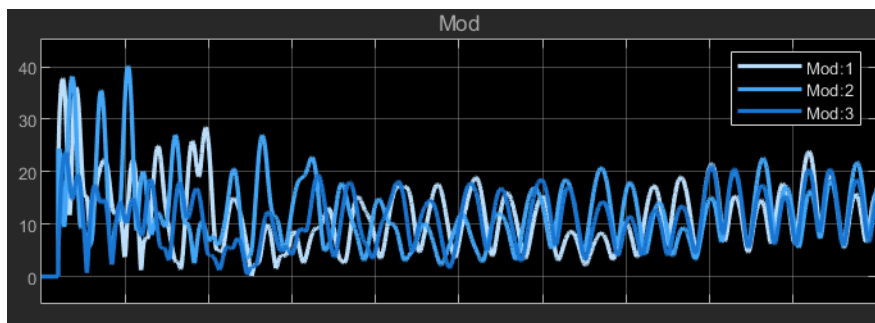


Figura 3.22: Transformada de Fourier de la corriente de la fábrica.

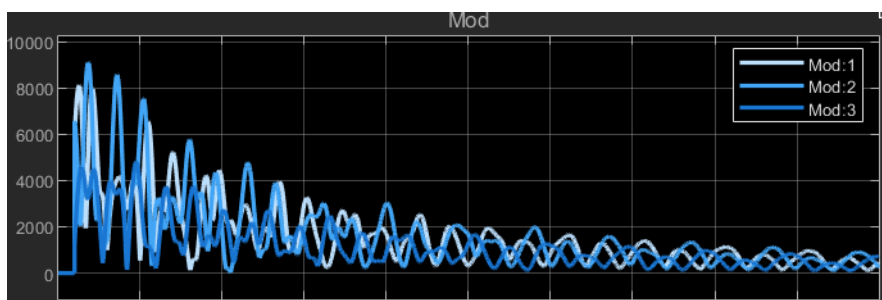


Figura 3.23: Transformada de Fourier de la tensión de la fábrica.

También se obtiene de cada motor las corrientes de cada fase del estator, que se resumen en la Tabla 3.7.

Máquina 1		Máquina 2	
Ia	62,47 KA	Ia	62,34 KA
Ib	62,5 KA	Ib	237,1 KA
Ic	0,208 KA	Ic	206,6 KA

Tabla 3.7: Corrientes del estator

### 3.1.3. Análisis Wavelet

Con los valores de tensiones y corrientes guardados en el *Workspace* de MATLAB a partir del modelo de la Figura 2.9, se realiza el correspondiente análisis Wavelet para cada señal obtenida. En primer lugar, se compara la señal dada por la simulación con la señal reconstruida a partir de los coeficientes dados por la descomposición. Después, se representan los distintos niveles de detalle (de mayor a menor detalle).

#### 3.1.3.1. Intensidad Ia

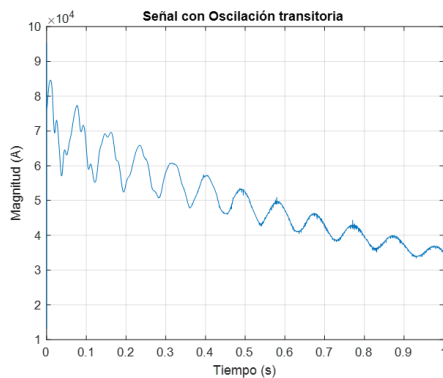


Figura 3.24: Señal original.

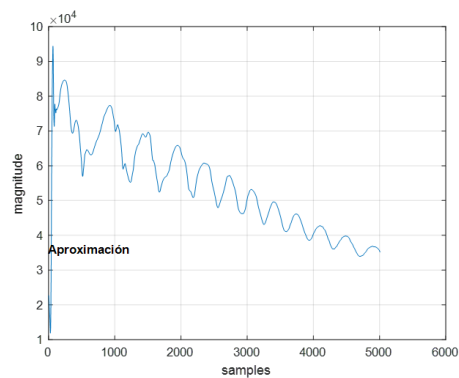


Figura 3.25: Reconstrucción.

Figura 3.26: Corriente de la fase A.

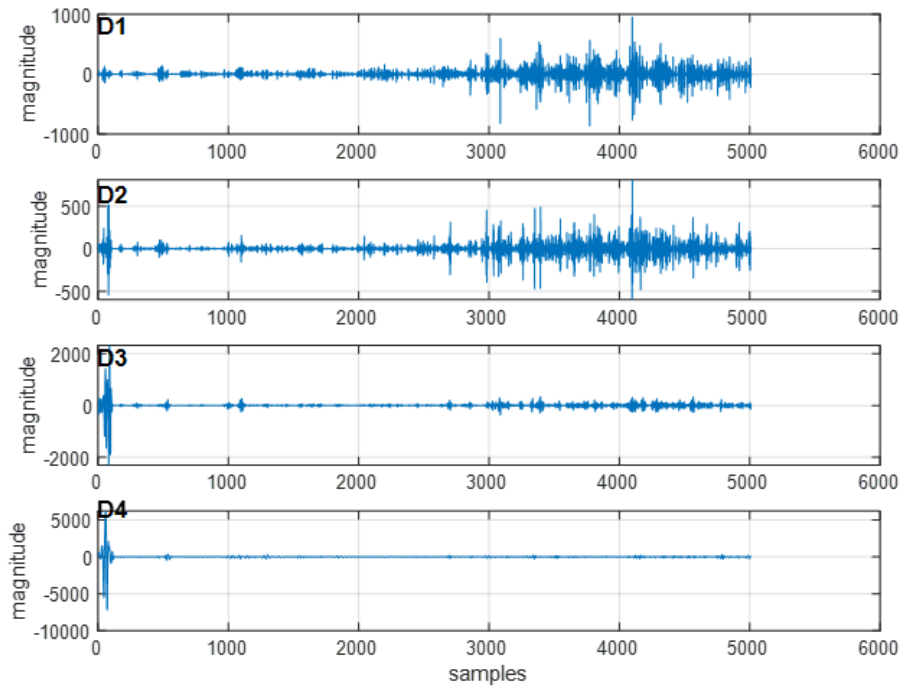


Figura 3.27: Niveles de detalle para Ia.

3.1.3.2. Intensidad Ib

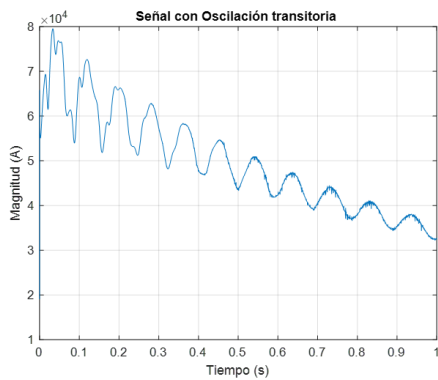


Figura 3.28: Señal original.

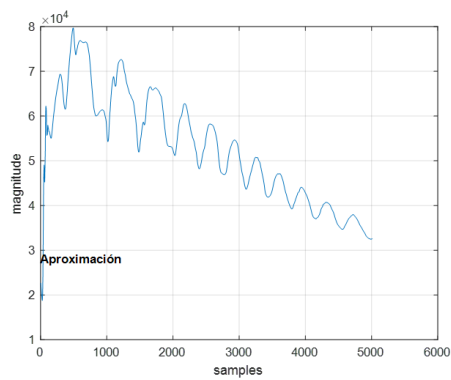


Figura 3.29: Reconstrucción.

Figura 3.30: Corriente de la fase B.

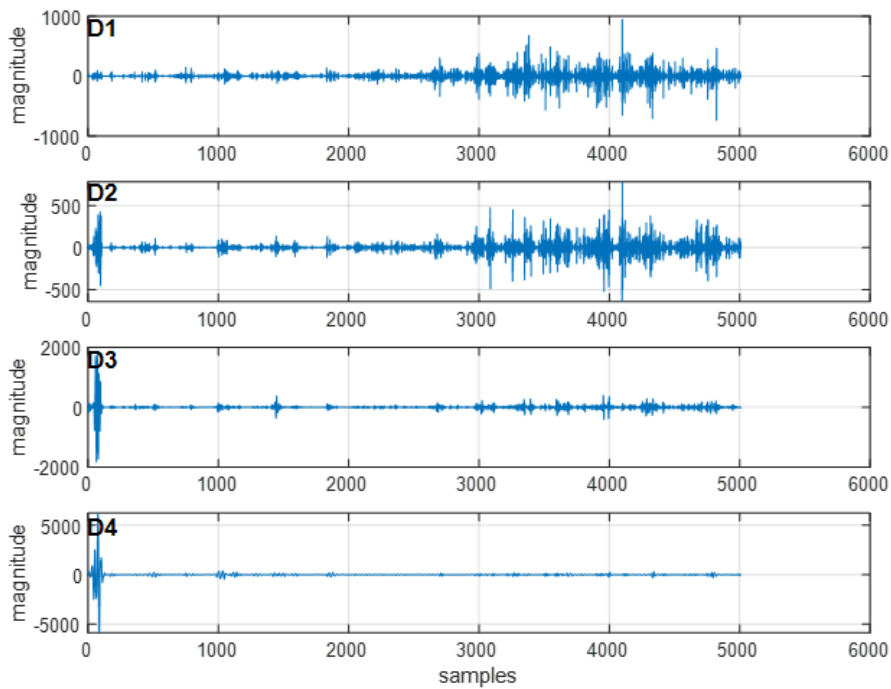


Figura 3.31: Niveles de detalle para Ib.

### 3.1.3.3. Intensidad Ic

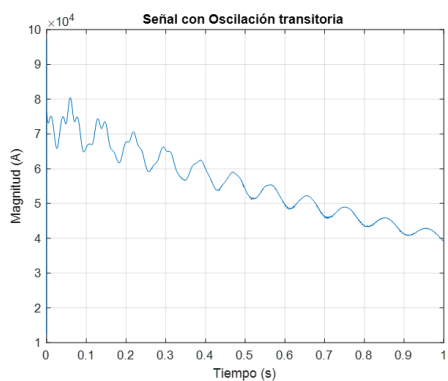


Figura 3.32: Señal original.

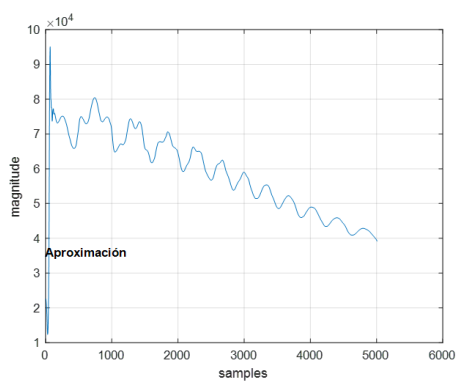


Figura 3.33: Reconstrucción.

Figura 3.34: Corriente de la fase C.

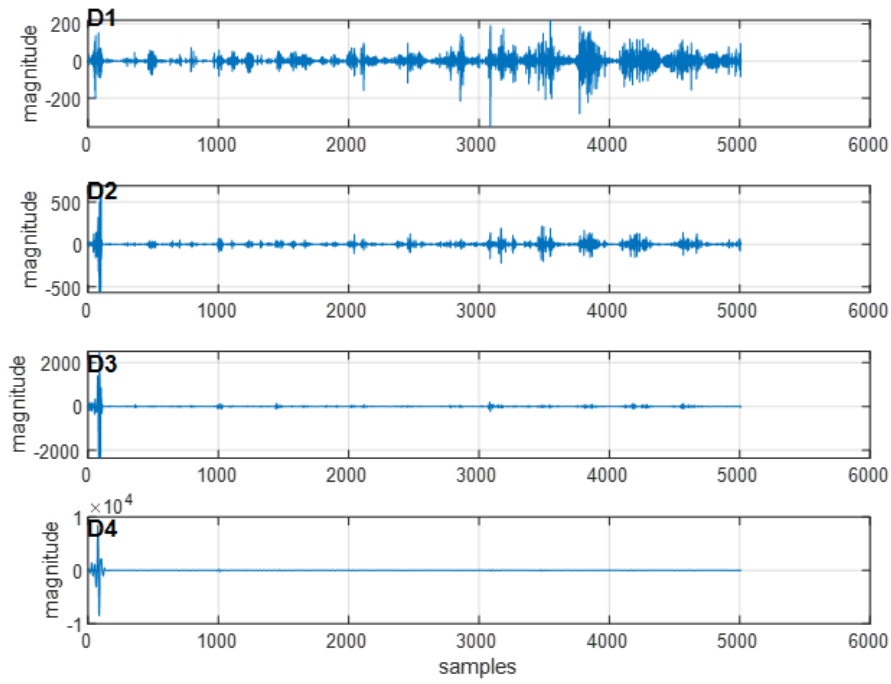


Figura 3.35: Niveles de detalle para Ic.

3.1.3.4. Tensión Va

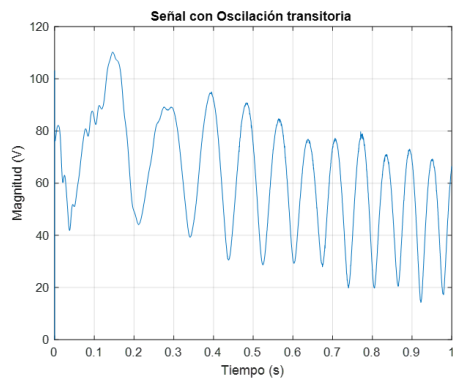


Figura 3.36: Señal original.

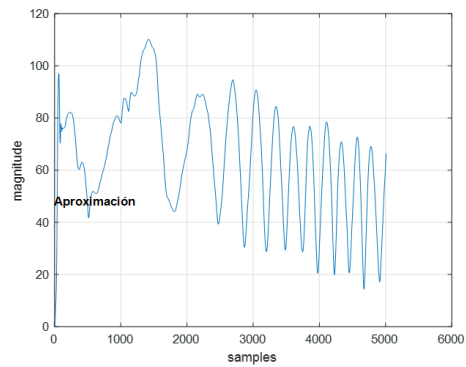


Figura 3.37: Reconstrucción.

Figura 3.38: Tensión de la fase A.

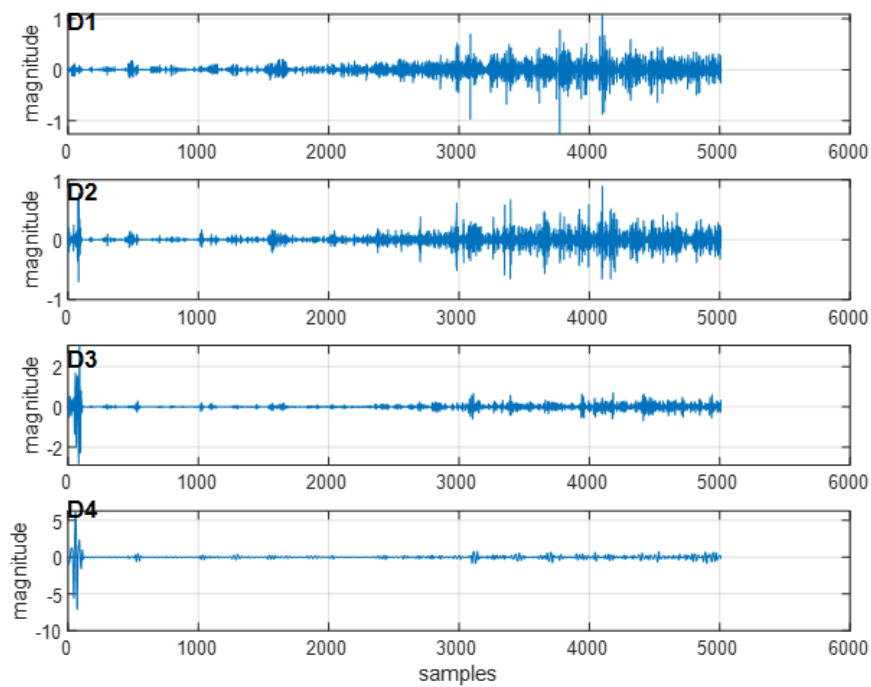


Figura 3.39: Niveles de detalle para Va.

### 3.1.3.5. Tensión Vb

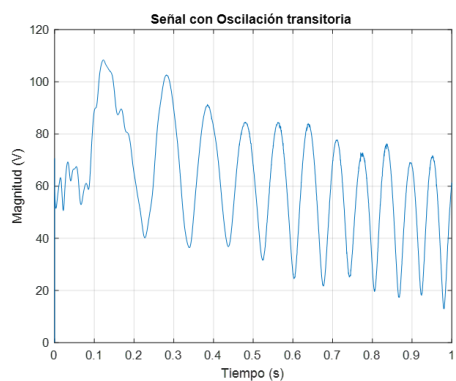


Figura 3.40: Señal original.

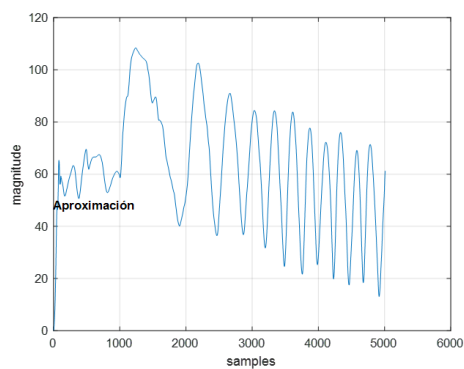


Figura 3.41: Reconstrucción.

Figura 3.42: Tensión de la fase B.

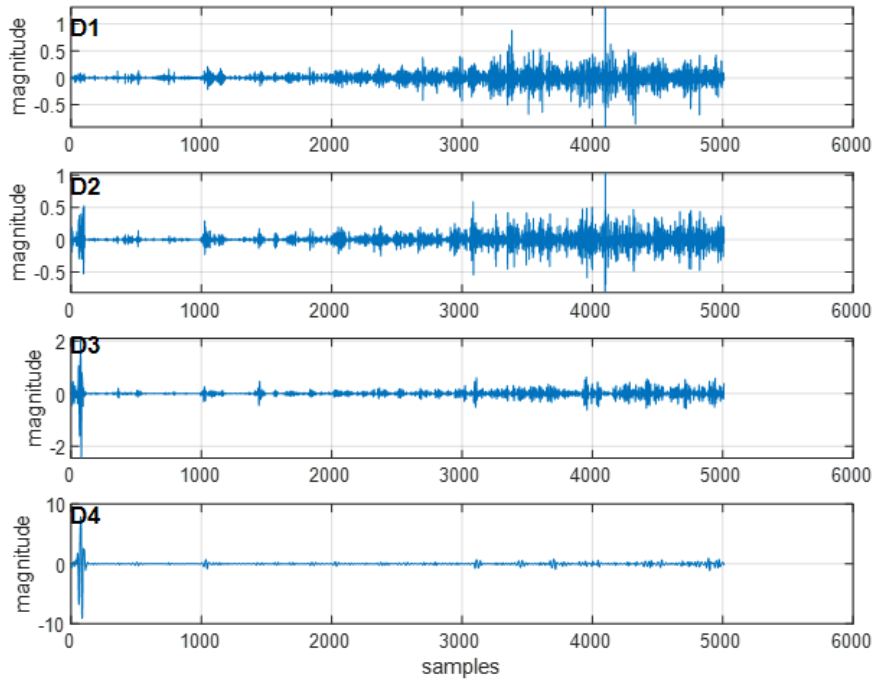


Figura 3.43: Niveles de detalle para Vb.

3.1.3.6. Tensión Vc

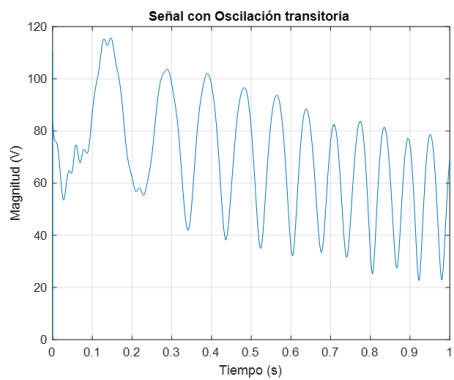


Figura 3.44: Señal original.

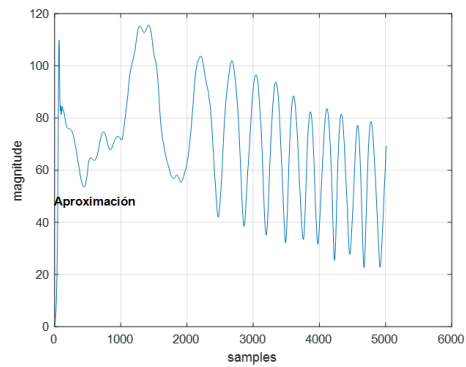


Figura 3.45: Reconstrucción.

Figura 3.46: Tensión de la fase C.

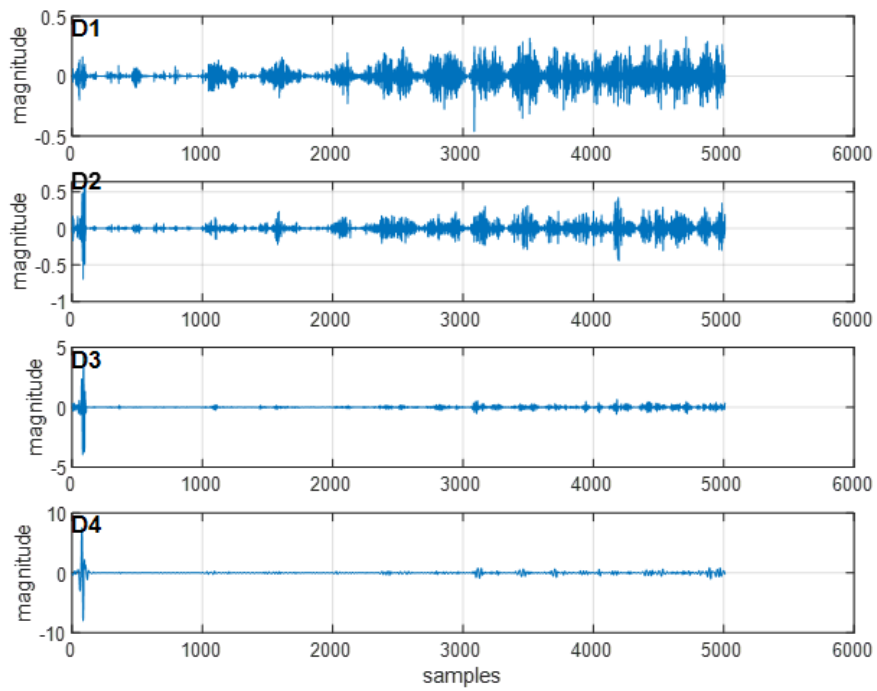


Figura 3.47: Niveles de detalle para Vc.

### 3.2. Falta fase A a tierra en la central eólica

En la aplicación que controla el modelo (3.48), se selecciona la fase A y la opción *A tierra*. El tiempo de inicio y fin de la falta no se modifica (se emplea por defecto el dado).

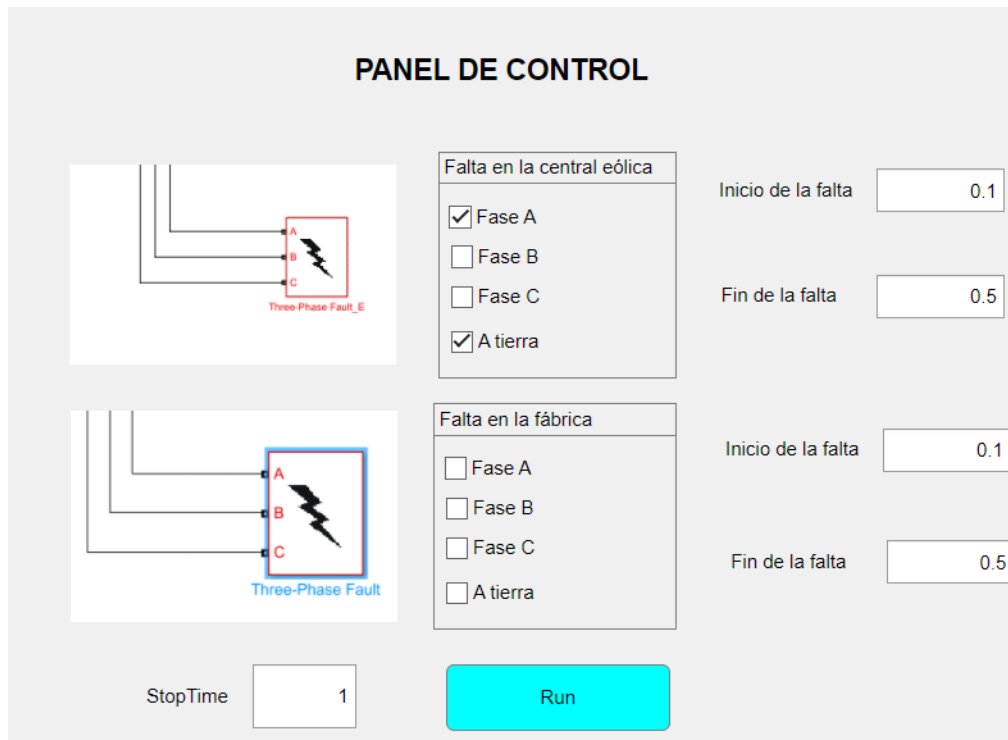


Figura 3.48: Elección de falta.

En esta situación, se recogen en la Tablas 3.8 y 3.9 los datos del porcentaje de distorsión armónica y el valor eficaz de la corriente, como ya se hizo en la simulación anterior. Los valores obtenidos han aumentado ligeramente en esta simulación.

Dato	Bloque	Valor
Distorsión armónica	Red	73,70 %
	Línea	74,41 %
	Central	72,84 %
	Fábrica	69,92 %

Tabla 3.8: THD. Simulación 2.

Dato	Bloque	Valor
Valor eficaz	Red	26,64 A
	Línea	24,74 A
	Central	126,5 A
	Fábrica	170,70 A

Tabla 3.9: Valor eficaz de la corriente. Simulación 2.

La falta producida se va a notar en la medida de la tensión y corriente en la central eólica, mostrada en la Figura 3.49. Se observa perfectamente cómo la tensión de la fase A desciende a cero en el periodo de falta, que va desde 0.1 segundos a 0.5 segundos.

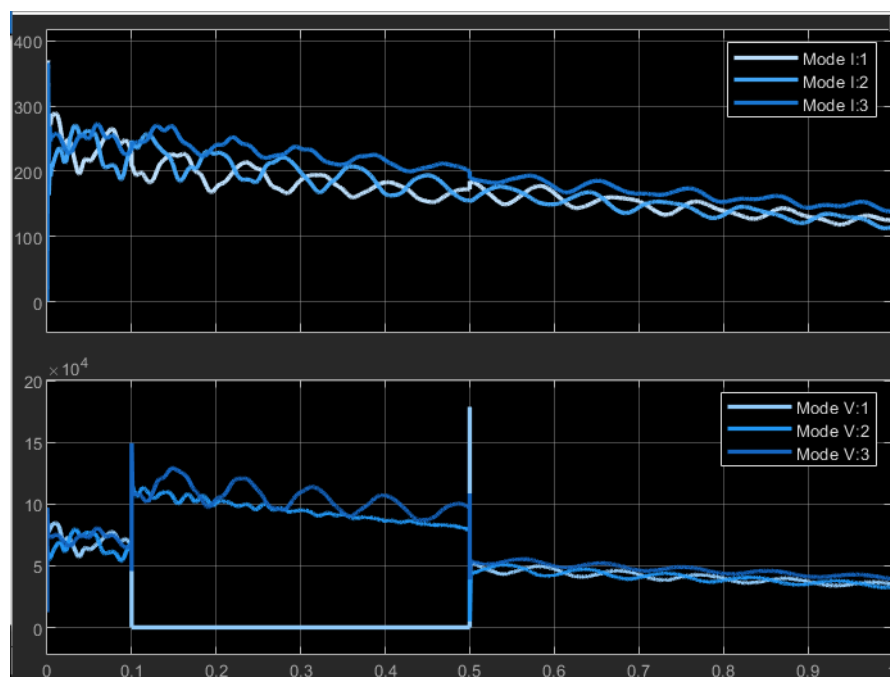


Figura 3.49: Tensiones y corrientes en la central eólica. Simulación 2.

En concreto, representando únicamente la tensión de la fase A (Figura 3.50), se observa el efecto que produce la falta en el sistema. Al iniciarse la falta, la tensión se reduce a cero al instante y, cuando se restaura la fase en 0.5 segundos, la tensión crece rápidamente alcanzando un pico de tensión de 18000 V aproximadamente.

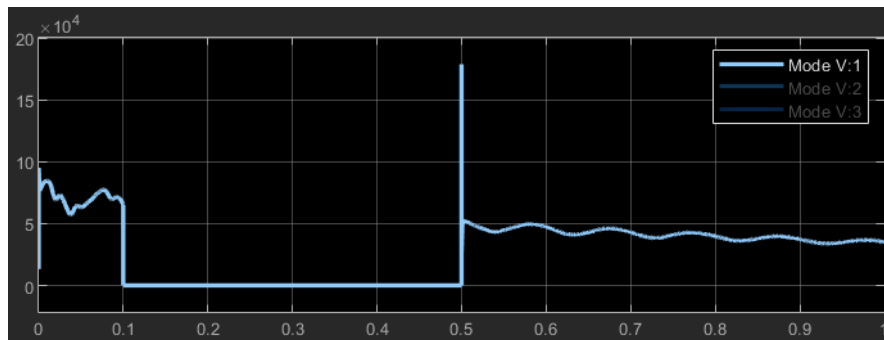


Figura 3.50: Tensión de la fase A.

Esta falta también se observa con gran nitidez al realizar la transformada de Fourier de la tensión, tal y como se representa en la Figura 3.51. Tanto en el momento de inicio como en el de finalización se producen sobretensiones, momentos donde la amplitud es muy elevada comparada con otros instantes de tiempo de la simulación. En concreto, existe una sobretensión al inicio de la falta de mayor valor que la originada al restablecerse la fase.

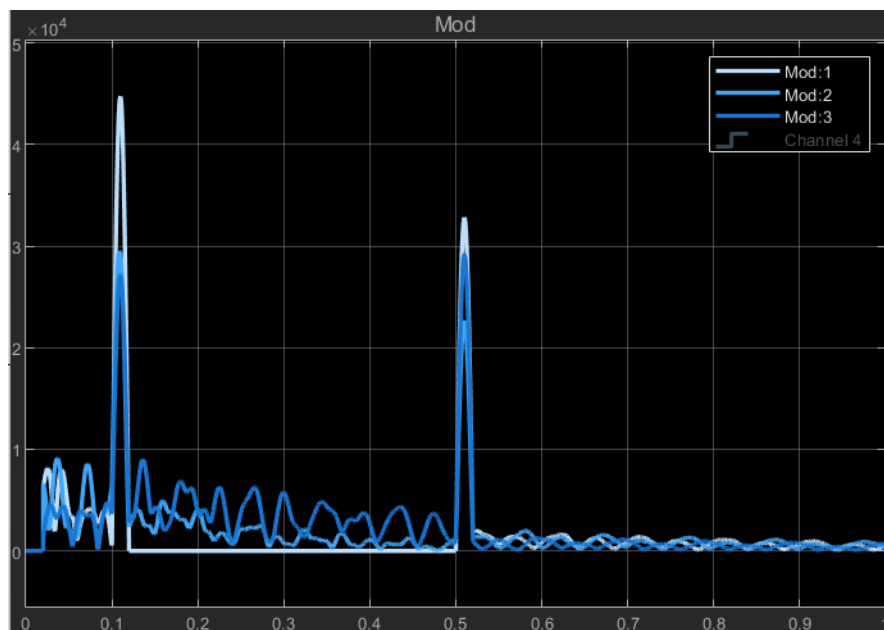


Figura 3.51: Transformada de Fourier de tensión.

Al aplicar la transformada Wavelet a la tensión de la fase A, se pueden localizar las perturbaciones ocasionadas por la falta al descomponer en niveles de detalle. En la Figuras 3.52 y 3.53, se muestra tanto la tensión original como su posterior reconstrucción. En la Figura 3.55, se muestra la descomposición realizada para la tensión de fase A.

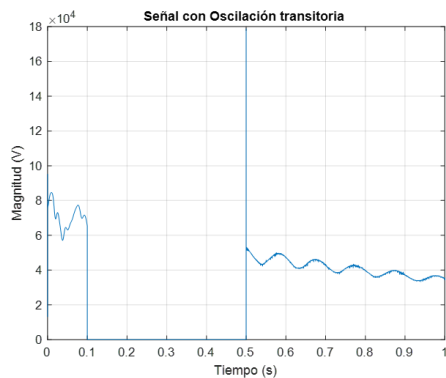


Figura 3.52: Señal original.

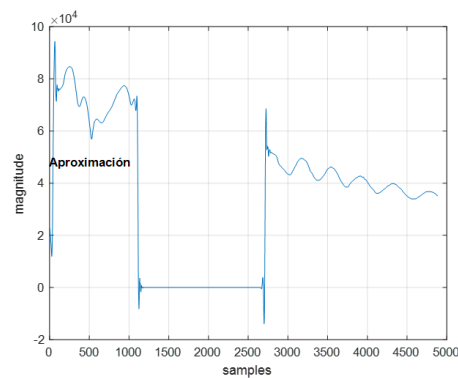


Figura 3.53: Reconstrucción.

Figura 3.54: Tensión de la fase A.

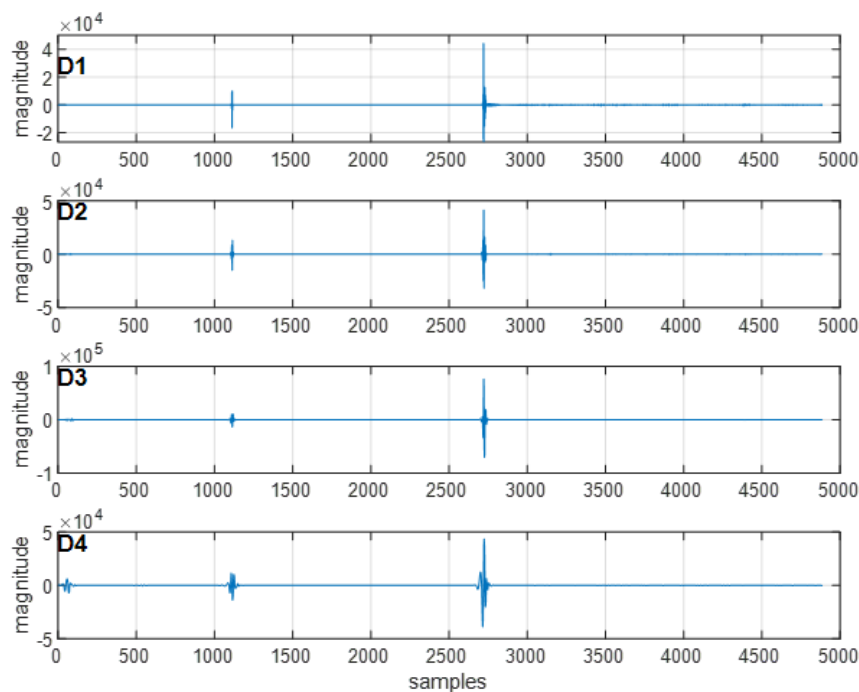


Figura 3.55: Niveles de detalle para  $V_a$ .

Se advierte que la reconstrucción de la señal mediante los coeficientes dados por la descomposición es un fiel reflejo de la original, solo cambia la información representada en el eje de abscisas (el tiempo de simulación en un caso y el número de muestras en la señal reconstruida). También se determina que la descomposición capta el inicio y fin de la falta. Al observar el nivel **D1**, se observa la perturbación generada por la falta en el valor de la tensión.

Asimismo, en el análisis Wavelet se detecta la falta producida al descomponer las señales generadas por las tensiones de las dos fases restantes. Si bien su tensión no se reduce a cero a lo largo de la falta, si se ven afectadas en el inicio y fin de la misma. Este hecho se comprueba a continuación.

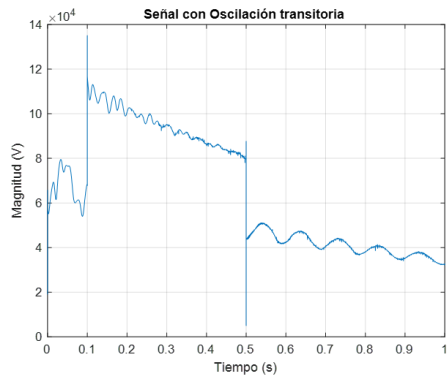


Figura 3.56: Señal original.

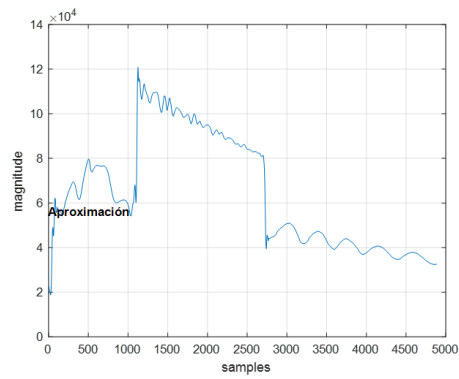


Figura 3.57: Reconstrucción.

Figura 3.58: Tensión de la fase B.

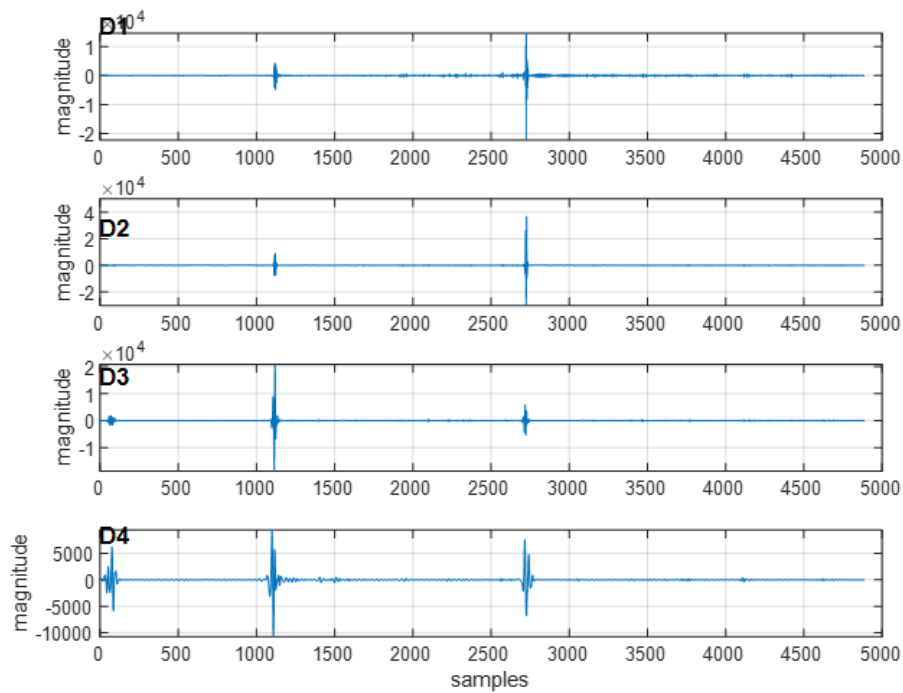


Figura 3.59: Niveles de detalle para Vb.

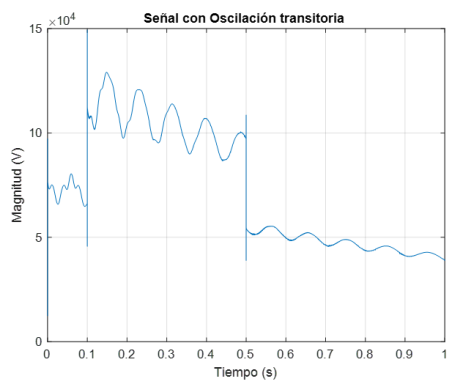


Figura 3.60: Señal original.

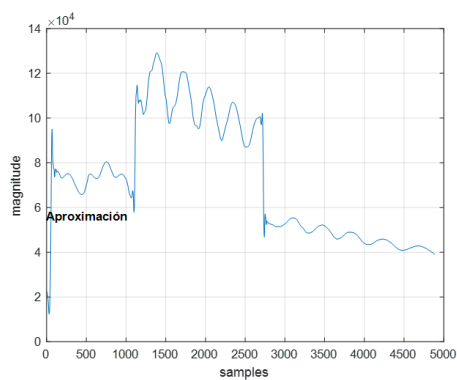


Figura 3.61: Reconstrucción.

Figura 3.62: Tensión de la fase C.

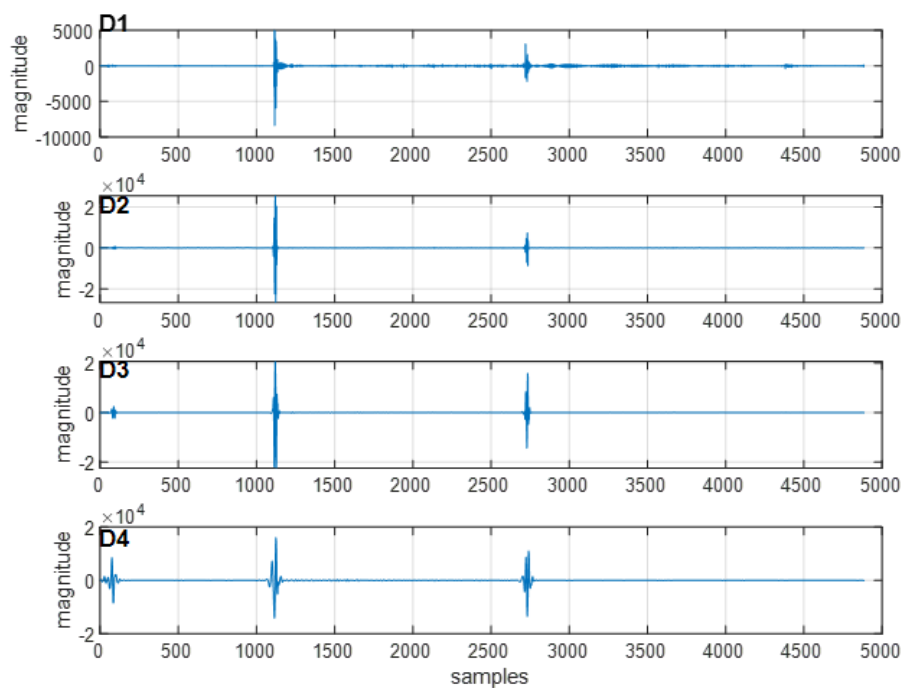


Figura 3.63: Niveles de detalle para  $V_c$ .

### 3.3. Falta fase B a fase C en la fábrica

En la aplicación (Figura 3.64) se escogen las fases B y C de la central, disponiendo un tiempo de inicio de 0.25 segundos y un tiempo de finalización de la falta de 0.6 segundos.

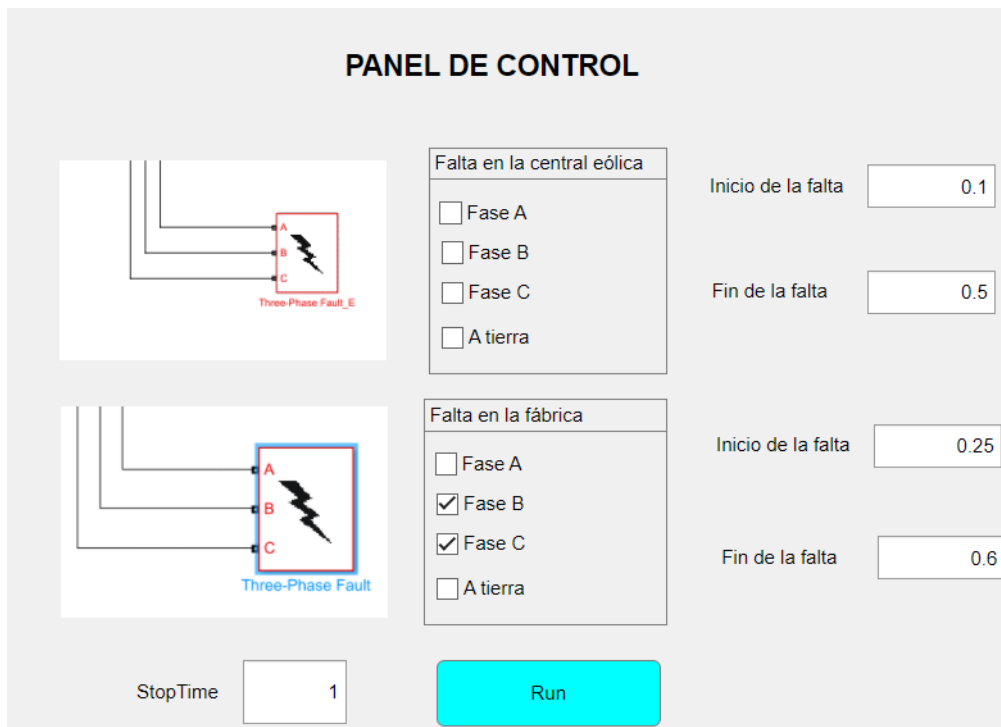


Figura 3.64: Elección de falta en la fábrica.

En esta caso, se recogen en la Tablas 3.10 y 3.11 los datos del porcentaje de distorsión armónica y valor eficaz de la corriente como ya se hizo anteriormente. Los valores hallados han sufrido una reducción bastante significativa con respecto a casos previos, sobre todo en la línea.

Dato	Bloque	Valor
Distorsión armónica	Red	44,00 %
	Línea	37,08 %
	Central	57,02 %
	Fábrica	51,31 %

Tabla 3.10: THD. Simulación 3.

Dato	Bloque	Valor
Valor eficaz	Red	16,49 A
	Línea	14,68 A
	Central	112,40 A
	Fábrica	135,00 A

Tabla 3.11: Valor eficaz de la corriente. Simulación 3.

En la fábrica, se ha presenciado de forma notoria la falta producida. Al representar las tensiones y las corrientes (Figura 3.65), se contempla que la corriente de las tres fases es nula cuando no tiene lugar la falta. En cambio, en el periodo en el que transcurre la falta, la corriente de la fase A tiene un valor nulo mientras que las otras dos corrientes tiene el mismo valor, distinto de cero. La tensión es nula durante el tiempo de simulación, exceptuando el instante en el que finaliza la falta.

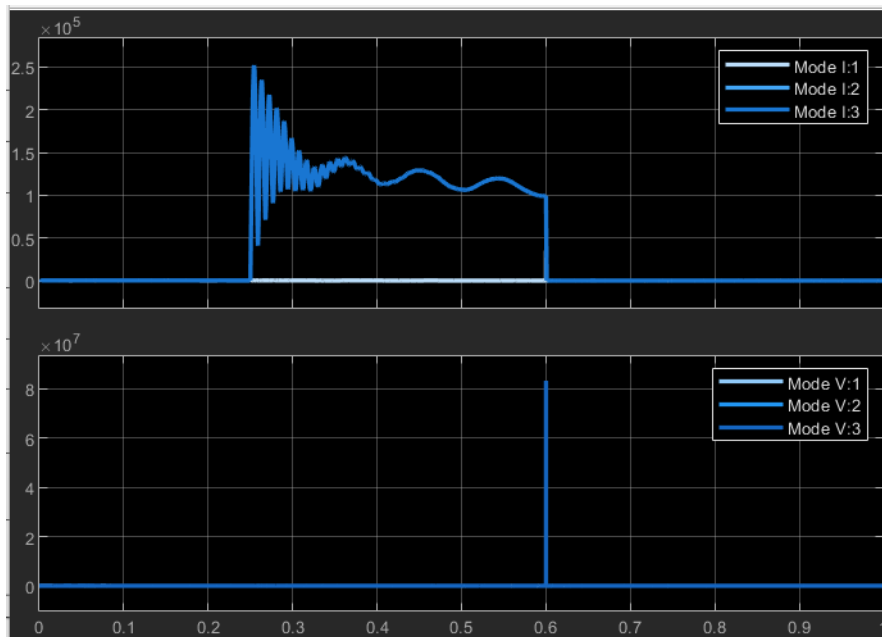


Figura 3.65: Tensiones y corrientes en la fábrica.

El efecto de la falta en la carga conectada se hace presente al calcular la transformada de Fourier de la tensión y de la corriente. Al observarlas con detenimiento, se observa un pico de amplitud en los instantes de inicio y fin de la falta. En el caso de la tensión, la mayor amplitud se da en el final de la falta mientras que en la corriente se produce al inicio de la misma.

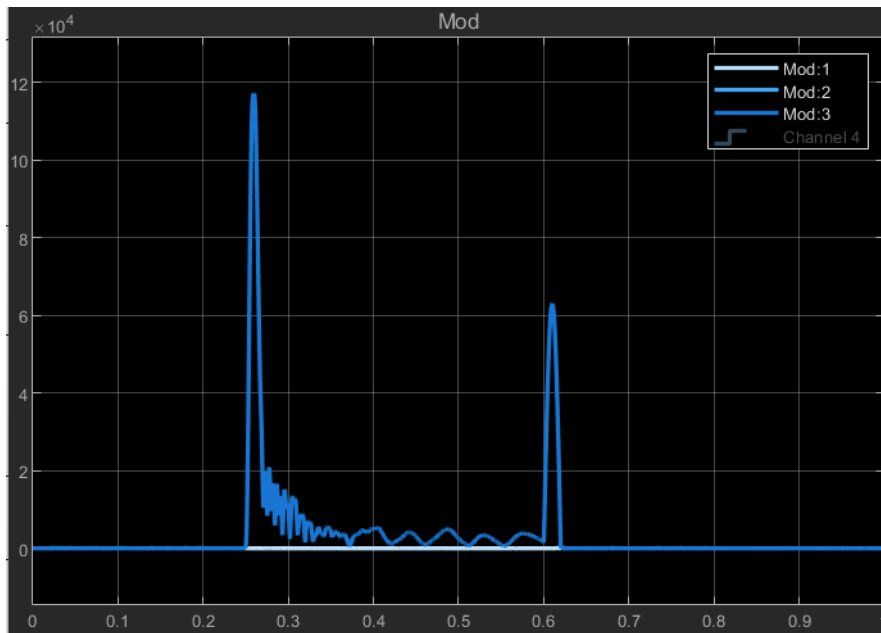


Figura 3.66: Transformada de Fourier de la corriente de la fábrica.

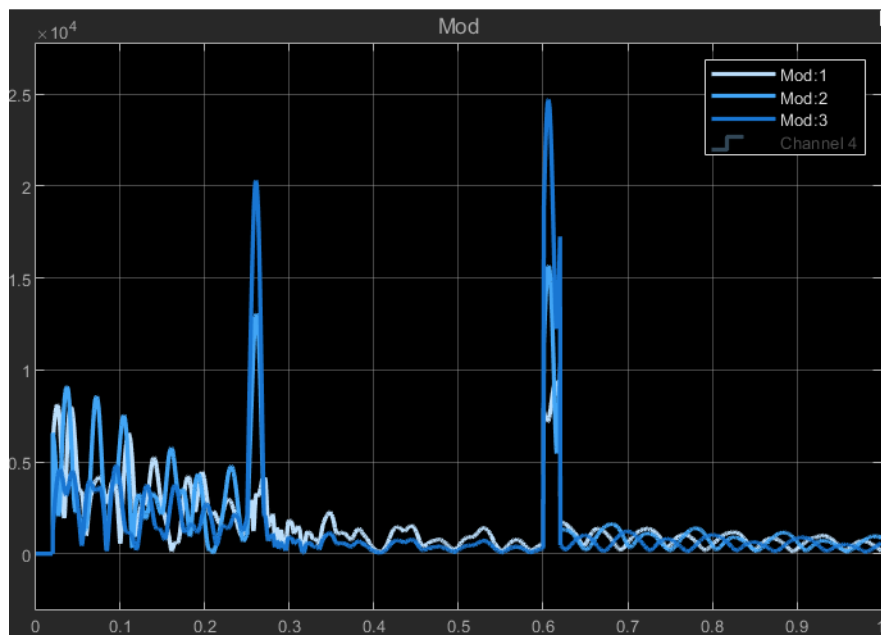


Figura 3.67: Transformada de Fourier de la tensión de la fábrica.

En lo que respecta al análisis Wavelet, se localiza la perturbación originada por la falta. Se muestra a continuación las señales obtenidas de la corrientes de las fases B y C, así como su descomposición correspondiente. También se ha seguido el mismo procedimiento con la tensión de la fase A.

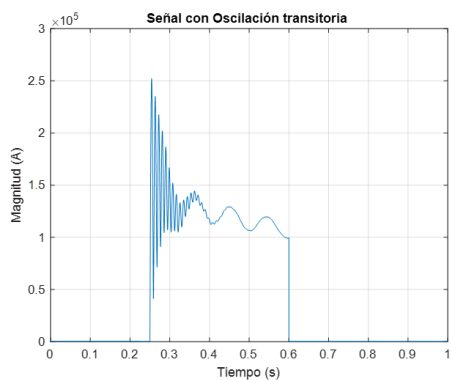


Figura 3.68: Señal original.

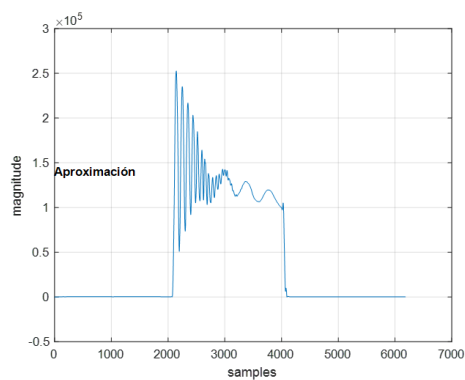


Figura 3.69: Reconstrucción.

Figura 3.70: Corriente de la fase B.

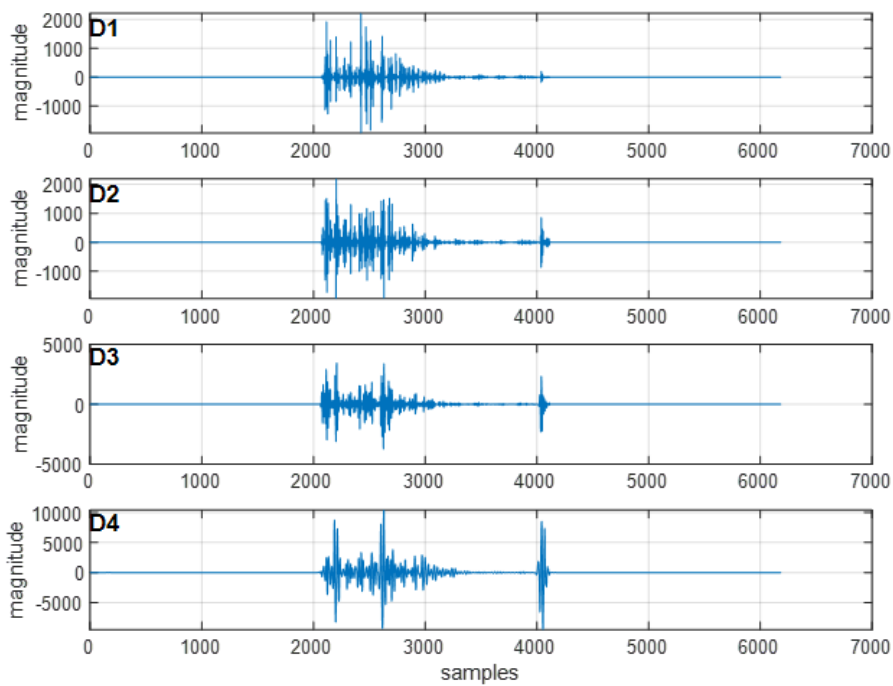


Figura 3.71: Niveles de detalle para Ib.

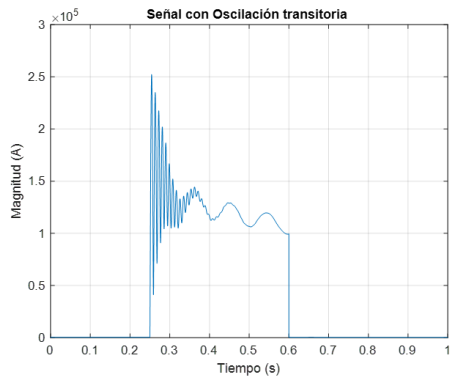


Figura 3.72: Señal original.

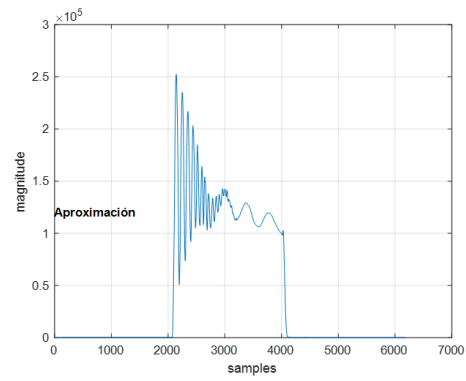


Figura 3.73: Reconstrucción.

Figura 3.74: Corriente de la fase C.

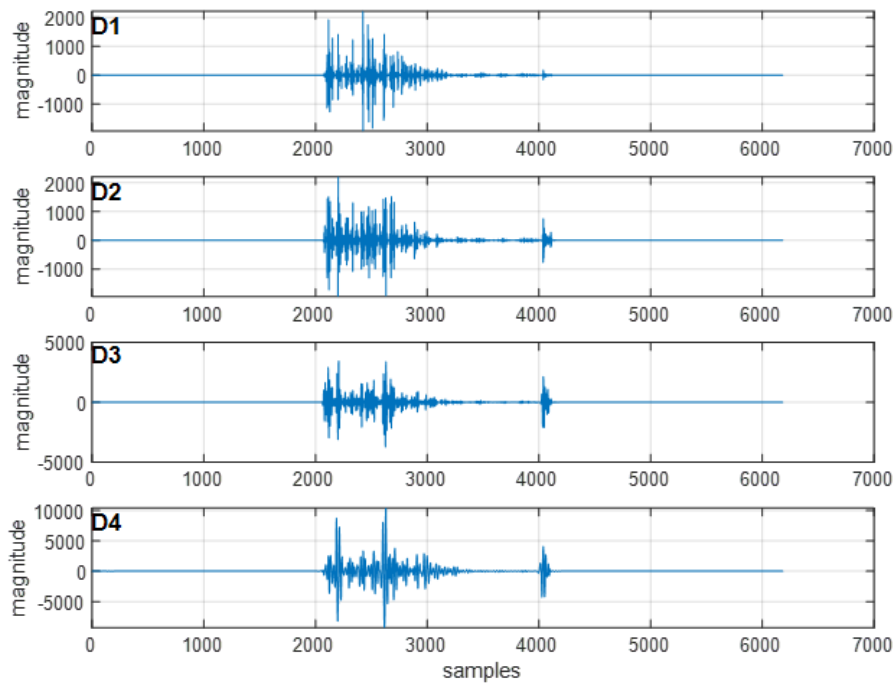


Figura 3.75: Niveles de detalle para  $I_c$ .

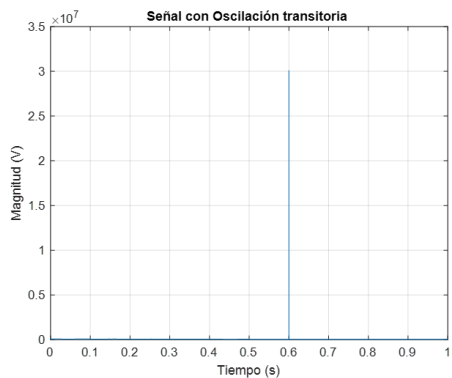


Figura 3.76: Señal original.

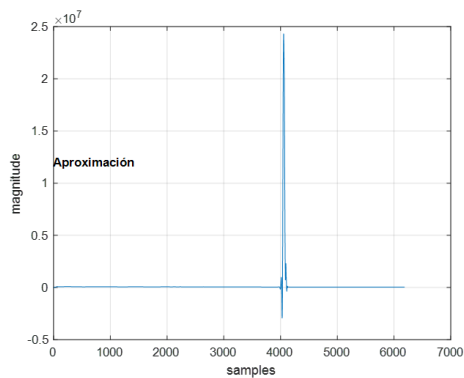


Figura 3.77: Reconstrucción.

Figura 3.78: Tensión de la fase A.

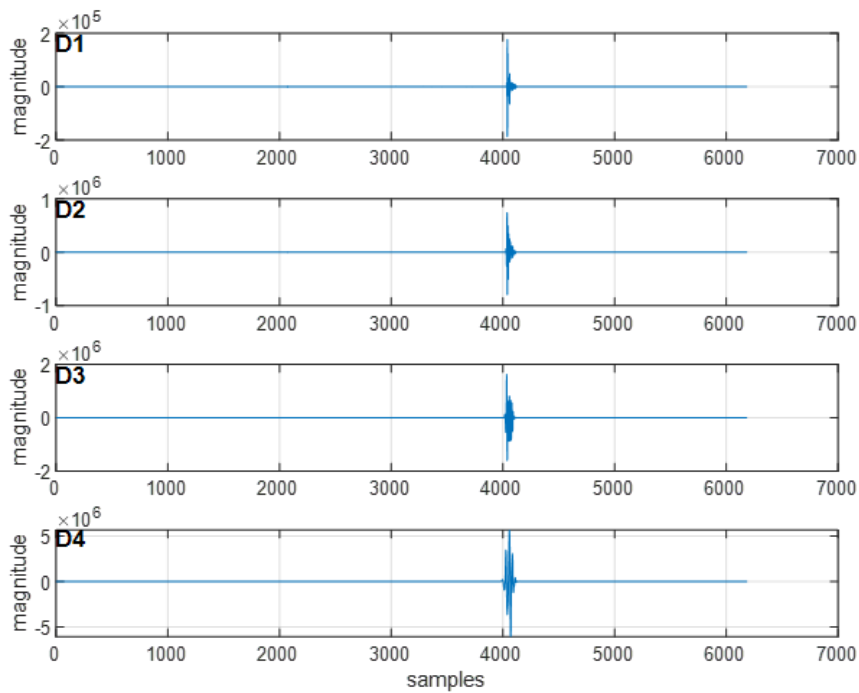
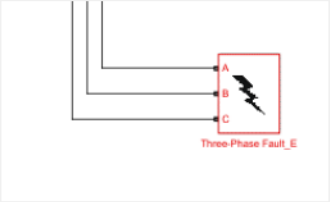


Figura 3.79: Niveles de detalle para Va.

### 3.4. Falta fase B a fase C y a tierra en la fábrica

Se eligen las opciones adecuadas en el panel de control (Figura 3.80) para estudiar la falta propuesta. El rango en el que se produce va desde 0.25 segundos a 0.6 segundos.

**PANEL DE CONTROL**



Three-Phase Fault\_E

Falta en la central eólica

Fase A

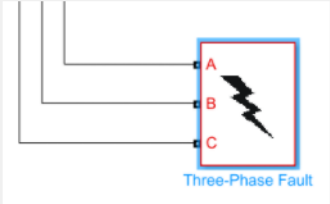
Fase B

Fase C

A tierra

Inicio de la falta

Fin de la falta



Three-Phase Fault

Falta en la fábrica

Fase A

Fase B

Fase C

A tierra

Inicio de la falta

Fin de la falta

StopTime

Run

Figura 3.80: Elección de falta en la fábrica.

Al realizar la simulación correspondiente, se obtienen los valores de distorsión armónica total y los valores eficaces de la corriente para los distintos bloques que componen el modelo (Figura 2.1). Estos resultados se recopilan en las Tablas 2.15 y 2.16, donde se encuentran cambios significativos con respecto al caso anterior.

Dato	Bloque	Valor
Distorsión armónica	Red	43,85 %
	Línea	36,97 %
	Central	57,14 %
	Fábrica	50,99 %

Tabla 3.12: THD. Simulación 4.

Dato	Bloque	Valor
Valor eficaz	Red	16,50 A
	Línea	14,70 A
	Central	112,40 A
	Fábrica	135,00 A

Tabla 3.13: Valor eficaz de la corriente. Simulación 4.

Cuando se representan las tensiones y corrientes de la fábrica (Figura 3.81), se aprecia que la respuesta obtenida en este caso coincide exactamente con la simulación previa mostrada en la Figura 3.65. De aquí se deduce que escoger en la aplicación la opción *A tierra* cuando otras dos fases están seleccionadas no afecta a la respuesta obtenida.

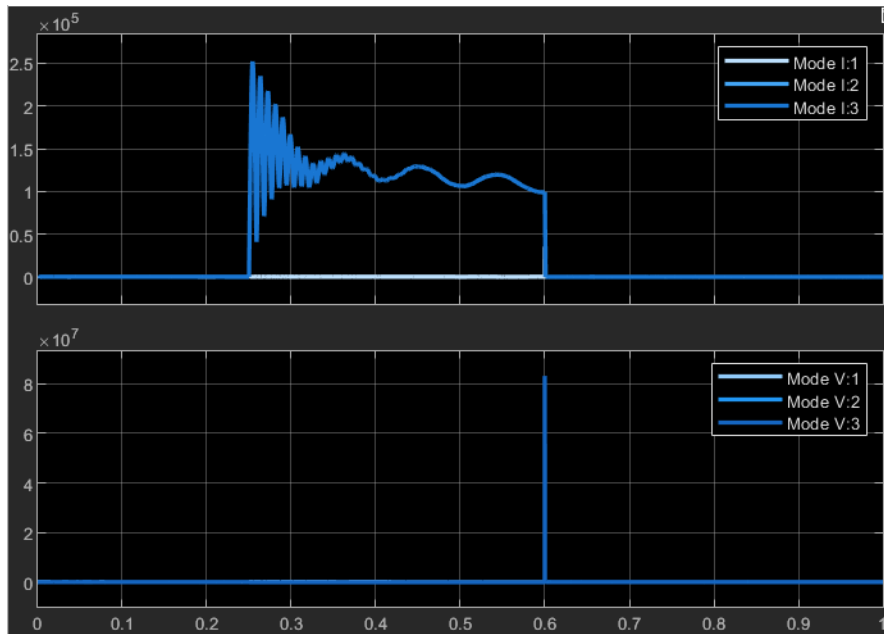


Figura 3.81: Tensiones y corrientes en la fábrica.

Este tipo de falta no solo repercute en la fábrica, sino que en la central y en el resto de la micro red se notan los efectos causados por la falta. Esto se demuestra en las Figuras 3.82 y 3.83, donde se dan valores nulos de tensiones y corrientes en la red y en las tensiones de la central (salvo un pico al finalizar la falta) y un cambio brusco de la corriente de la central.

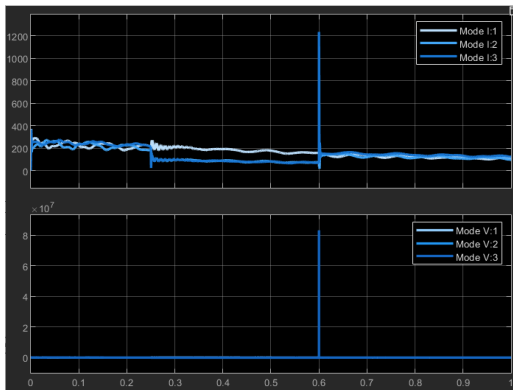


Figura 3.82: Central eólica.

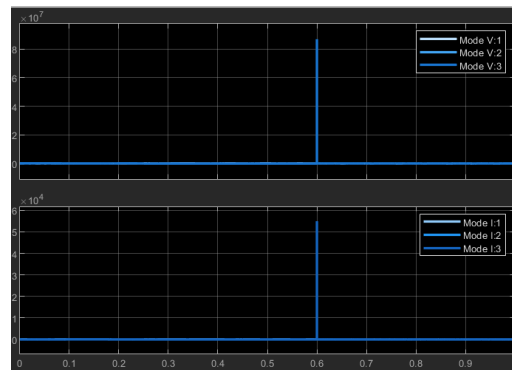


Figura 3.83: Red.

Figura 3.84: Tensiones y corrientes en el sistema.

### 3.5. Falta fase a tierra en ambas cargas

Por último, se va a producir una falta en la fase A a tierra en la central eólica y una falta en la fase B a tierra en la fábrica. La falta en la central comienza en 0.1 segundos y termina en 0.5 segundos mientras que la fábrica se fija el inicio en 0.4 segundos y el fin en 0.7 segundos.

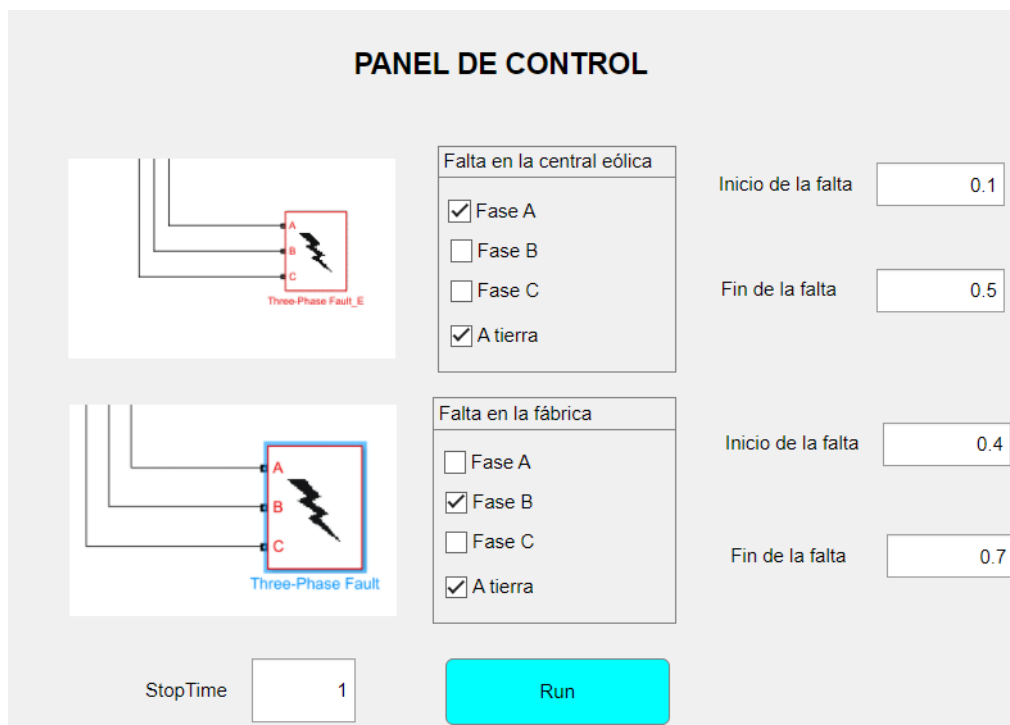


Figura 3.85: Elección de falta.

Al realizar la simulación correspondiente, se obtienen los valores de distorsión armónica total y los valores eficaces de la corriente para los distintos bloques de la micro red. Estos resultados se recogen en las Tablas 2.17 y 2.18, donde aumentan las corrientes eficaces en todos los bloques. La distorsión armónica se incrementa en todos los casos, excepto en la central donde sufre una ligera disminución.

Dato	Bloque	Valor
Distorsión armónica	Red	61,19 %
	Línea	57,95 %
	Central	43,80 %
	Fábrica	63,59 %

Tabla 3.14: THD. Simulación 5.

Dato	Bloque	Valor
Valor eficaz	Red	19,78 A
	Línea	17,74 A
	Central	119,60 A
	Fábrica	147,80 A

Tabla 3.15: Valor eficaz de la corriente. Simulación 5.

Por un lado, en las tensiones y corrientes de la fábrica (Figura 3.86) se aprecia cómo la corriente es distinta en el rango que va desde 0.4 segundos y 0.5 segundos. En este periodo de tiempo tiene lugar tanto la falta de la central como la de la fábrica. La tensión permanece constante en cero, salvo cuando finaliza la falta en la central y continua produciéndose solo la falta en la fábrica.

En las transformadas de Fourier de la tensión y corriente (Figuras 3.87 y 3.88), se observan la introducción y finalización de las respectivas faltas. En el caso de la tensión, se distinguen perfectamente los inicios y finales de ambas falta, produciéndose las mayores amplitudes cuando ambas faltas están activas. En cambio, en la transformada de la corriente sólo se observa un valor distinto de cero en el periodo en el que discurren ambas faltas.

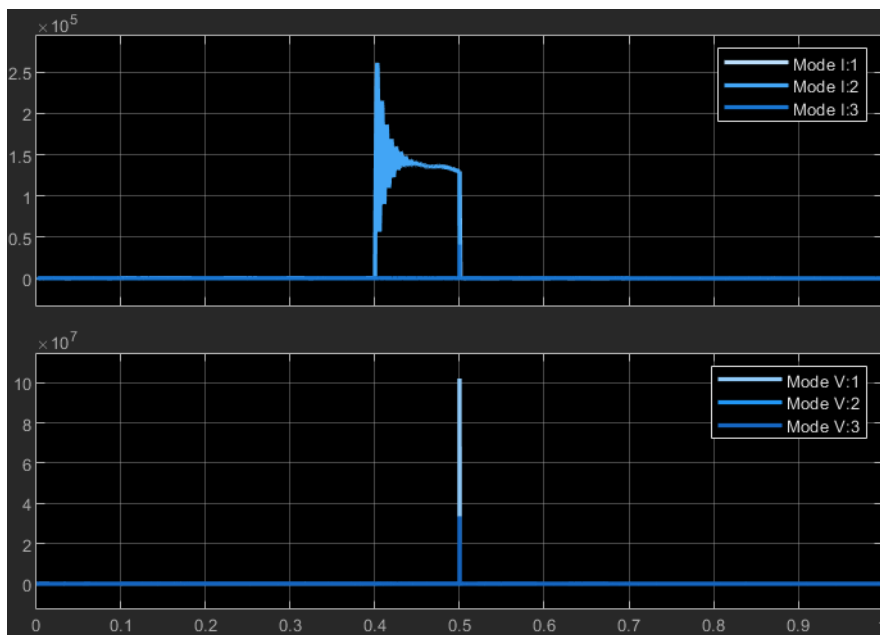


Figura 3.86: Tensiones y corrientes en la fábrica.

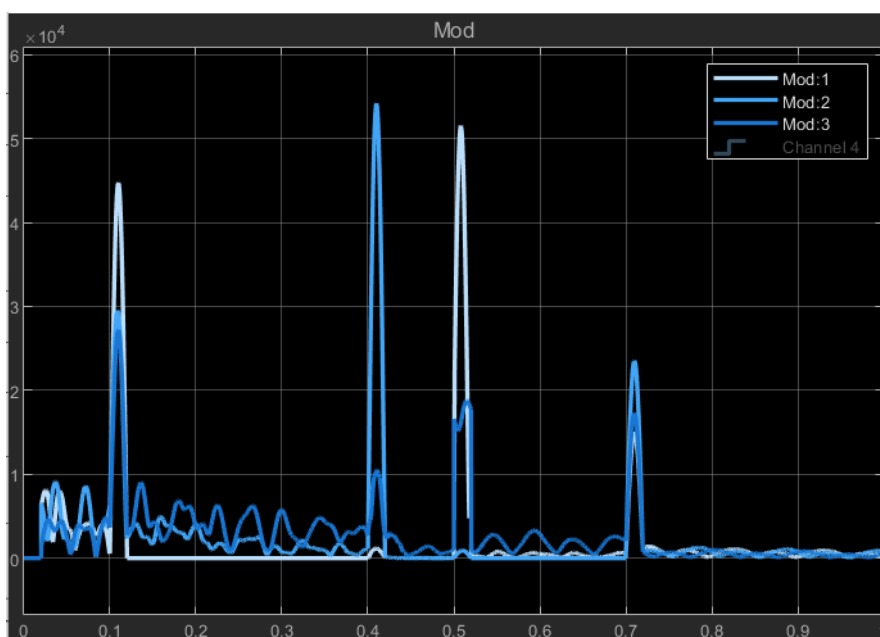


Figura 3.87: Transformada de Fourier de la tensión en la fábrica.

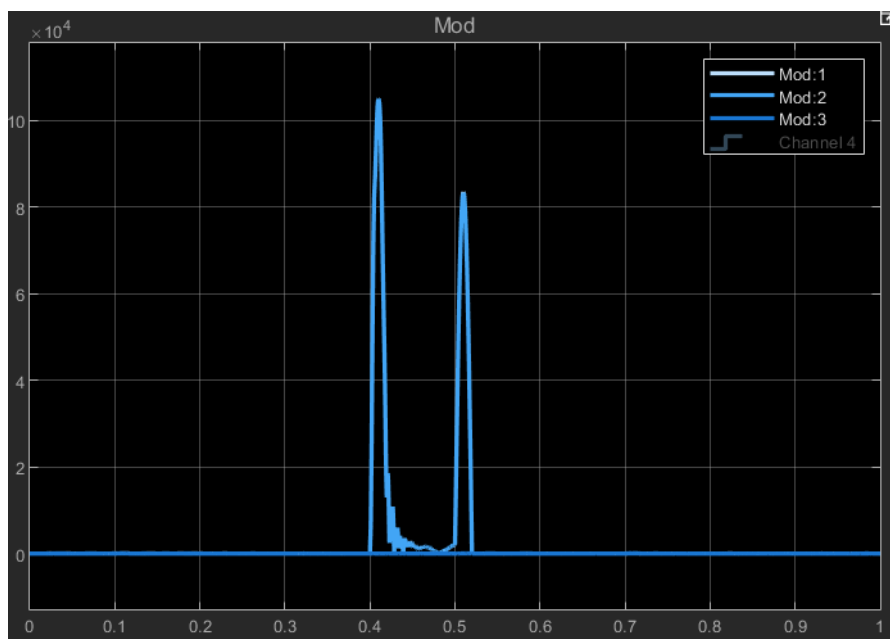


Figura 3.88: Transformada de Fourier de la corriente en la fábrica.

Por otro lado, en la central eólica se da una respuesta similar tanto para la tensión como para la corriente. Solo se produce un valor distinto de cero cuando finaliza la falta en la central (0.5 segundos).

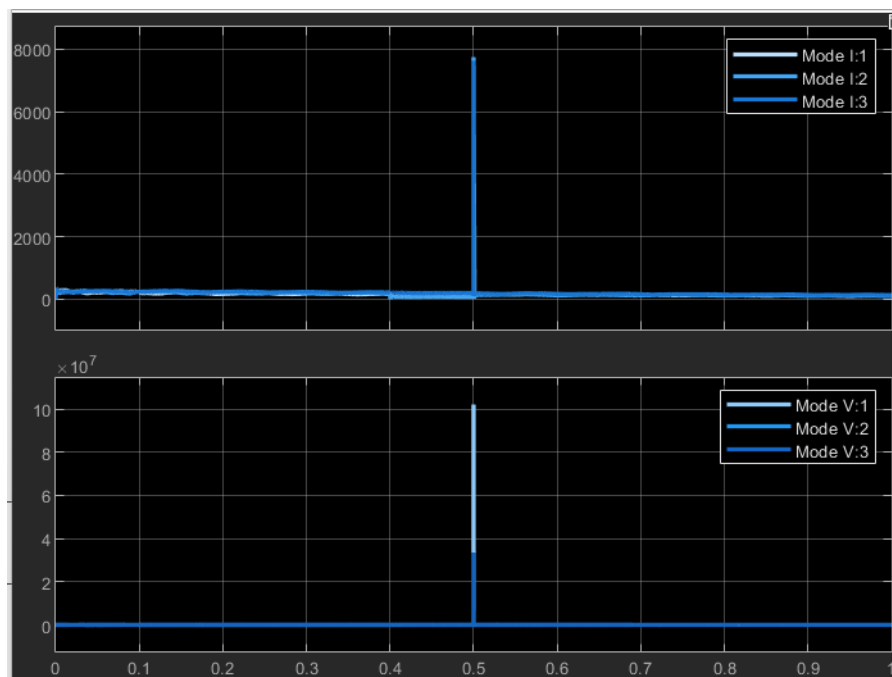


Figura 3.89: Tensiones y corrientes en la central eólica.

En la transformada de Fourier correspondiente, se estima una respuesta en la que se observa una mayor amplitud en los instantes 0.4 segundos y 0.5 segundos.

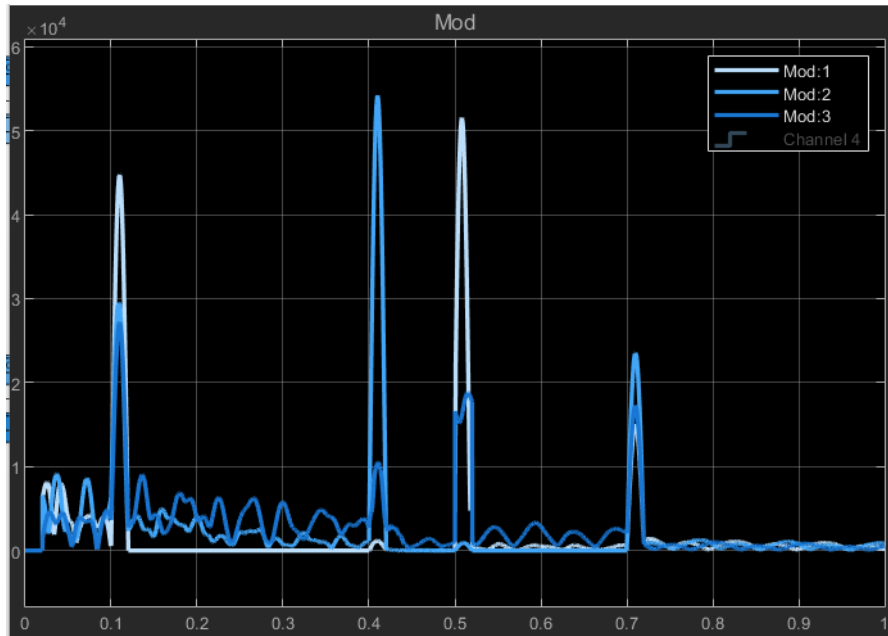


Figura 3.90: Transformada de Fourier de la tensión en la central eólica.

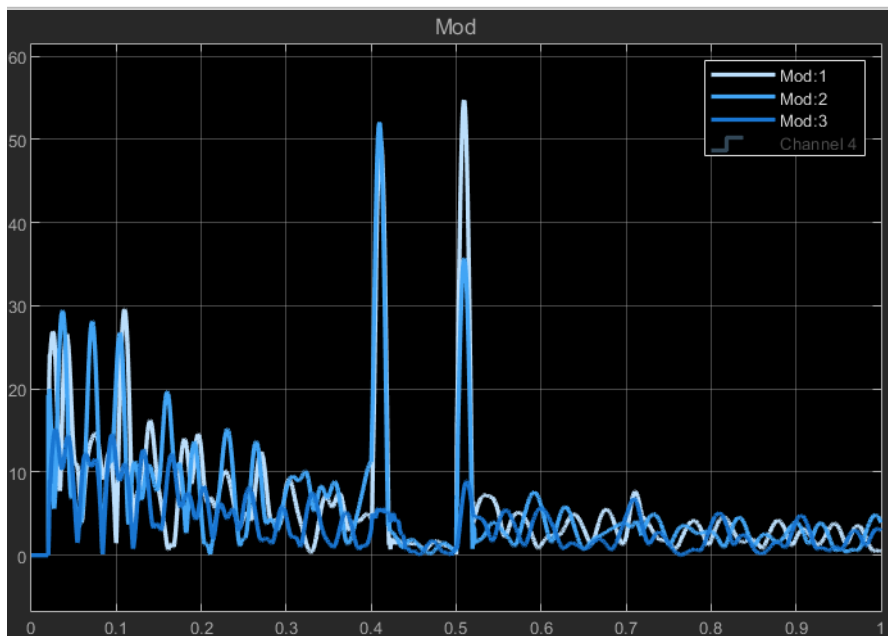


Figura 3.91: Transformada de Fourier de la corriente en la central eólica.

Finalmente, a partir de la transformada Wavelet, se pueden advertir las perturbaciones originadas por las faltas. En la tensión de la fase B de la fábrica, se observan

los cambios introducidos por las faltas tanto en la señal originada como en la descomposición por niveles. En el nivel **D1** de la descomposición, se perciben los saltos producidos en la tensión con mayor precisión.

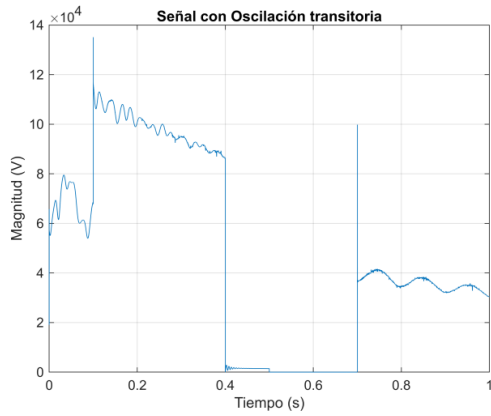


Figura 3.92: Señal original.

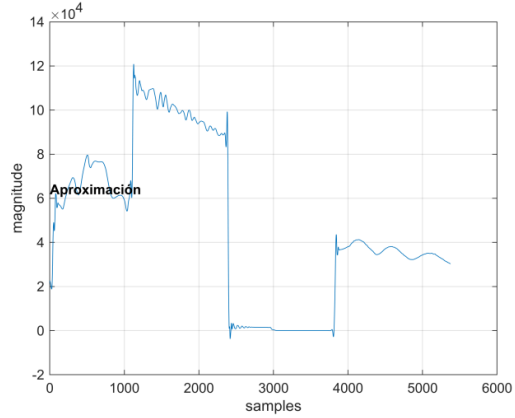


Figura 3.93: Reconstrucción.

Figura 3.94: Tensión de la fase B en la fábrica.

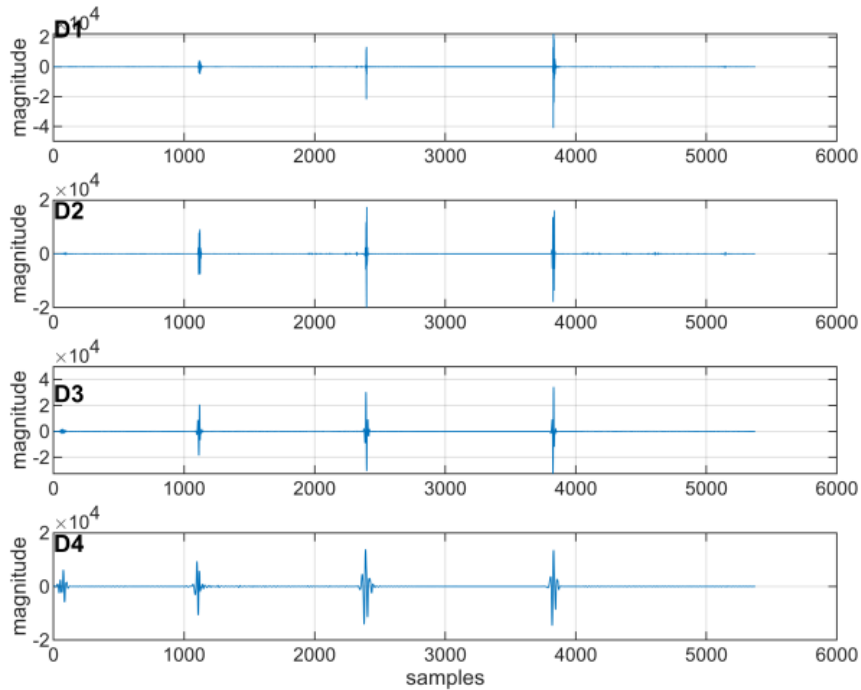


Figura 3.95: Niveles de detalle para Vb en la fábrica.

En la tensión de la fase B de la central también se observa nítidamente el momento en el que se producen los cambios en la respuesta, sobre todo en el nivel **D1**.

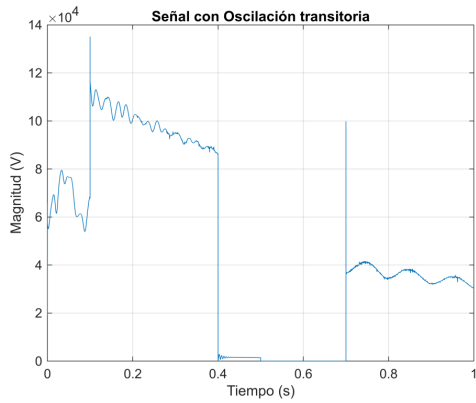


Figura 3.96: Señal original.

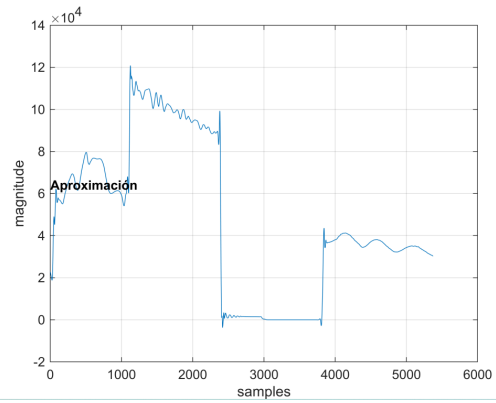


Figura 3.97: Reconstrucción.

Figura 3.98: Tensión de la fase B en la central eólica.

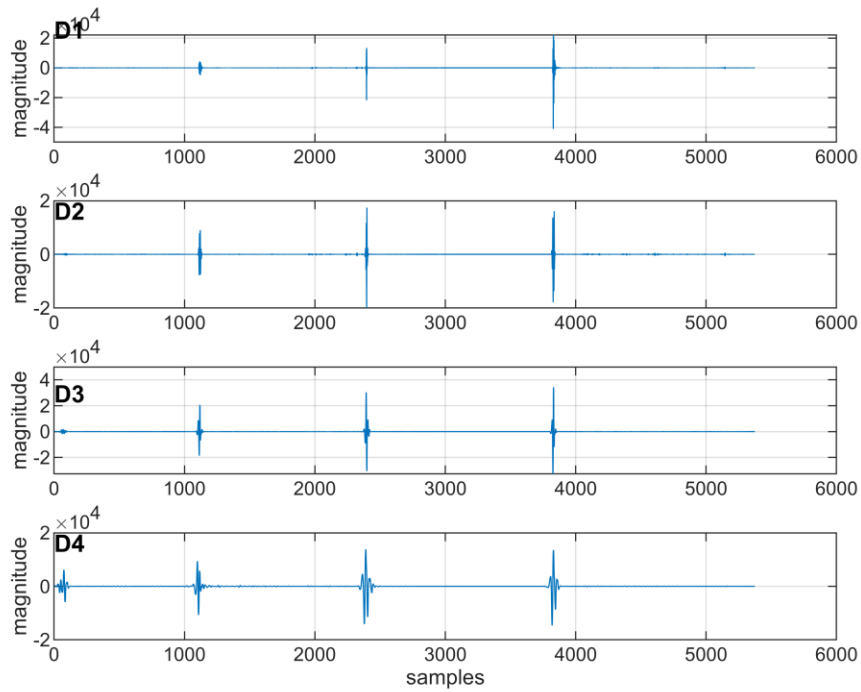


Figura 3.99: Niveles de detalle para Vb en la central eólica.

# Capítulo 4

## Conclusiones y líneas futuras

### 4.1. Conclusiones

En resumen, mediante el modelo de micro red empleado, se pueden observar los efectos que originan las faltas en todo el sistema. Según el tipo de falta producida, la respuesta de la micro red va a ser diferente tanto en tensión como en corriente afectando en mayor o menor medida a las distintas fases.

En las tensiones y corrientes de las cargas afectadas por la falta, se aprecian los cambios introducidos al comienzo y al final de la falta. Es decir, los tiempos de conmutación elegidos por el usuario en la aplicación crean en la mayoría de los casos una sobretensión o una sobrecorriente.

Estas alteraciones también son palpables al aplicar indistintamente la transformada de Fourier y el análisis Wavelet. En concreto, en la descomposición por niveles dada por Wavelet se pueden localizar esos cambios en la respuesta en el tiempo, así como su amplitud.

Por tanto, se deduce que la transformada Wavelet es un gran método para obtener perturbaciones de la señal en el dominio del tiempo con mayor o menor precisión, según el número de niveles empleados.

Asimismo, la micro red simulada proporciona un modelo fiel a la realidad del sistema eléctrico, detectando a lo largo del periodo de simulación todo lo que ocurre en el sistema.

## 4.2. Líneas futuras

### 4.2.1. Respecto al modelo de micro red

Al modelo de micro red planteado se le podrían añadir otros elementos como condensadores, bobinas, así como motores eléctricos, habituales en los sistemas eléctricos. Así se obtendría una micro red cuyas características se aproximen en mayor medida a la realidad.

También se podrían incorporar paneles fotovoltaicos y baterías de almacenamiento que permitirían simular micro redes de gran actualidad.

Otra mejora a realizar sería la integración de elementos propios de la electrónica de potencia e incorporar cargas no lineales, muy relacionadas con el uso cada vez más intensivo de la electrónica en los sistemas eléctricos.

### 4.2.2. Respecto al análisis de las señales

Con respecto a la transformada Wavelet, se podrían utilizar los datos proporcionados por la transformada para obtener parámetros característicos de las señales con los que evaluar la calidad de la señal.

Finalmente, a partir de los parámetros obtenidos mediante la transformada Wavelet, podría diseñarse un sistema que, haciendo uso de redes neuronales, permitiera clasificar las perturbaciones eléctricas producidas en la micro red.

# Capítulo 5

## Presupuesto

### 5.1. Cuadros de precios básicos

#### Cuadro de mano de obra

Código	Ud.	Resumen	Importe Total (Euros)	
			Cifra	Letras
mo.1	Hora	<b>Ingeniero/a</b>	15,63	QUINCE EUROS CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS

#### Cuadro de materiales

Código	Ud.	Resumen	Importe Total (Euros)	
			Cifra	Letras
mat.1	Año	<b>Software: licencia de MATLAB versión R2022b</b>	860	OCHOCIENTOS SESENTA EUROS

## Cuadro de maquinaria

Código	Ud.	Resumen	Importe Total (Euros)	
			Cifra	Letras
maq.1	Ud.	<b>Portátil Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IAH7, i5, 16GB, 512GB SSD</b>	1099	MIL EUROS CON NOVEN- TA Y NUEVE CÉNTIMOS

## 5.2. Cuadro de precios descompuestos

Código	Ud.	Resumen	Importe (Euros)
<b>I.1</b>		<b>Diseño de la micro red en Simulink</b>	
mat.1	0,0046 años	Software: licencia de MATLAB versión R2022b.	3,93
maq.1	0,7 ud	Portátil Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IAH7, i5, 16GB, 512GB SSD	769,30
mo.1	40h	Ingeniero/a	625,20
		<b>TOTAL POR UD. DE OBRA:</b>	<b>1398,43</b>
<b>I.2</b>		<b>Desarrollo de aplicación para controlar el modelo</b>	
mat.1	0,0011 años	Software: licencia de MATLAB versión R2022b.	0,98
maq.1	0,38 ud	Portátil Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IAH7, i5, 16GB, 512GB SSD	417,62
mo.1	10h	Ingeniero/a	156,30
		<b>TOTAL POR UD. DE OBRA:</b>	<b>574,90</b>
<b>I.3</b>		<b>Análisis Wavelet</b>	
mat.1	0,0014 años	Software: licencia de MATLAB versión R2022b.	1,18
maq.1	0,43 ud	Portátil Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IAH7, i5, 16GB, 512GB SSD	472,57
mo.1	12h	Ingeniero/a	187,56
		<b>TOTAL POR UD. DE OBRA:</b>	<b>661,31</b>
<b>I.4</b>		<b>Realización de simulaciones</b>	
mat.1	0,0011 años	Software: licencia de MATLAB versión R2022b.	0,98
maq.1	0,25 ud	Portátil Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IAH7, i5, 16GB, 512GB SSD	274,75
mo.1	10h	Ingeniero/a	156,30
		<b>TOTAL POR UD. DE OBRA:</b>	<b>432,03</b>

### 5.3. Resumen de presupuestos

Descripción	Importe total
Diseño de la micro red en Simulink	1398,43 €
Desarrollo de aplicación para controlar el modelo	574,90 €
Análisis wavelet	661,31 €
Realización de simulaciones	432,03 €
<b>Presupuesto de ejecución de material:</b>	<b>3066,67 €</b>
0 % Gastos generales	0 €
6 % Beneficio industrial	184 €
Total:	3250.67 €
21 % IVA (Total)	682,64 €
<b>Coste total:</b>	<b>3933,31 €</b>

El coste total de la ejecución del proyecto asciende a la cantidad de TRES MIL NOVECIENTOS TREINTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS (3933,31 €).



# Capítulo 6

## Bibliografía

- [1] S. Parhizi, H. Lotfi, A. Khodaei y S. Bahramirad, “State of the Art in Research on Microgrids: A Review,” *IEEE Access*, vol. 3, págs. 890-925, 2015. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2443119.
- [2] “2012 DOE Microgrid Workshop,” Department of Energy Office of Electricity Delivery y Energy Reliability, inf. téc., 2012. dirección: <http://energy.gov/sites/prod/files/2012%20Microgrid%20Workshop%20Report%2009102012.pdf>.
- [3] J. Carpio Ibáñez, J. V. Míguez Camiña y R. Guirado Torres, *Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica*, spa. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013, ISBN: 8436265955.
- [4] R. E. Pinto, *Calidad de la energía eléctrica*, spa. Córdoba, Argentina: Jorge Sarmiento Editor : Universitas Editorial Científica Universitaria, 2020, ISBN: 987-572-814-4.
- [5] “Generación distribuida,” *Fundación Endesa*, dirección: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>.
- [6] A. Colmenar Santos, *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*, spa. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2015, ISBN: 84-362-7035-5.
- [7] MathWorks. “Simulink.” (), dirección: <https://es.mathworks.com/products/simulink.html>.