



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica**

**Área de Conocimiento de Ingeniería Eléctrica**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

---

---

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA SOFTWARE PARA LA  
CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE ACCIONAMIENTOS  
ELÉCTRICOS MULTIFÁSICOS**

---

---

**Grado en Ingeniería de la Energía**

**Autor:** Tae Ho Kim

**Tutor:** Ignacio González Prieto

**Cotutor:** Juan José Aciego Gallardo

MÁLAGA, 27 de Octubre de 2023

## Resumen

La situación actual del medio ambiente está siendo una de las principales preocupaciones a nivel mundial. El aumento de la emisión de los gases contaminantes es una de las causas que afecta negativamente al medio ambiente, ya que agrava el cambio climático y la contaminación del aire y del agua que empeoran la calidad de la vida humana. Por ello, se buscan formas de reducir la emisión de los gases contaminantes en todos los sectores industriales, siendo los más principales, el de la generación de la energía eléctrica y el de la movilidad de personas y mercancías.

En el sector de la generación eléctrica, el empleo de la energía eólica reducirá considerablemente la emisión de los gases y en el sector de la movilidad, el uso de los vehículos eléctricos. Ambas tecnologías funcionan a través del accionamiento eléctrico por lo que es necesario mejorar la competitividad de los accionamientos eléctricos. Para ello, es fundamental el estudio de las pérdidas por calor que se producen en estos accionamientos, dado que estas pérdidas no son recuperables.

Ante esta necesidad, se propone en este Trabajo Fin de Grado, el desarrollo de una aplicación que permita analizar térmicamente el comportamiento de un accionamiento eléctrico. El software desarrollado hará uso de las imágenes proporcionadas por una cámara térmica. El tratamiento de la información proporcionada por la cámara será fundamental para su posterior utilización. La visualización térmica por software que se ha desarrollado permitirá detectar y prevenir fallos en los accionamientos eléctricos de una forma rápida, sencilla y segura.

**Palabras claves:** Accionamiento eléctrico, caracterización térmica, máquina eléctrica, convertidor electrónico de potencia, sistema de control, imagen térmica, temperatura.

## Abstract

The current state of the environment is a major global concern worldwide. The increase in the emission of pollutant gases is one of the causes that negatively affects the environment, as it aggravates climate change and air pollution that worsen the quality of human life. Therefore, there is an active search of various types of methods to reduce the emissions of pollutant gases in all industrial sectors, the main ones being the generation of electricity and the mobility of people and goods.

In the power generation sector, the use of wind energy will significantly reduce gas emissions and in the mobility sector, the use of electric vehicles will significantly reduce emissions. Both technologies work through the electric drive so there is a need to improve the competitiveness of electric drives. For this purpose, it is essential to study the heat losses that occur in these drives, as these losses are not recoverable.

In view of this need, this Final Degree Project proposes the development of an application that allows the thermal analysis of the behaviour of an electric drive. The developed software will make use of the images provided by a thermal camera. The processing of the information provided by the camera will be essential for its further use. The software-based thermal visualisation that has been developed will make it possible to detect and prevent faults in electrical electrical drives in a quick, simple and safe way.

**Keywords:** Electric drive, thermal characterisation, electric machine, electronic power converter, control system, thermal image, temperature.

# Índice de contenidos

<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>5</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>8</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2 Antecedentes y objeto</b>	<b>12</b>
<b>3 Accionamientos eléctricos</b>	<b>14</b>
3.1 Aplicaciones de los accionamientos eléctricos . . . . .	14
3.1.1 Vehículos eléctricos . . . . .	14
3.1.2 Sistemas de conversión eólica . . . . .	21
3.1.3 Trenes eléctricos . . . . .	24
3.2 Componentes de los accionamientos eléctricos . . . . .	26
3.2.1 Máquina eléctrica . . . . .	27
3.2.2 Convertidor electrónico de potencia . . . . .	31
3.2.3 Sistema de control . . . . .	34
3.3 Caracterización térmica de los accionamientos eléctricos . . . . .	41
<b>4 Desarrollo de la herramienta software</b>	<b>47</b>
4.1 Descripción del software desarrollado . . . . .	48
4.2 Proceso de desarrollo del software . . . . .	48
<b>5 Caracterización térmica con Thermo ED</b>	<b>68</b>
5.1 Descripción del accionamiento eléctrico . . . . .	68
5.2 Descripción del sistema de control empleado . . . . .	71
5.3 Descripción de los ensayos . . . . .	72
5.4 Resultados de los ensayos . . . . .	72
5.4.1 Ventajas del procesado de imágenes . . . . .	84
5.4.2 Análisis de los resultados obtenidos con Thermo ED . . . . .	87
<b>6 Conclusiones y líneas futuras de trabajo</b>	<b>88</b>
6.1 Conclusiones . . . . .	88
6.2 Líneas futuras de trabajo . . . . .	88
<b>Referencias</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>93</b>
<b>A Ficha técnica de la cámara termográfica Ti9</b>	<b>94</b>
<b>B Fichero de códigos de programación de Thermo ED</b>	<b>98</b>

## Índice de figuras

1	Producción de energía eléctrica por distintas fuentes de energía en 2022 a nivel mundial. . . . .	9
2	Potencia eólica instalada en 2021. . . . .	10
3	Ventas de vehículos eléctricos entre 2016-2023. . . . .	11
4	Cámara termográfica Fluke Ti9. . . . .	13
5	Esquema general de conversión de energía en vehículos eléctricos. . . . .	14
6	Esquema del vehículo 100 % eléctrico. . . . .	15
7	Ejemplos de algunos modelos de BEV. . . . .	16
8	Esquema del vehículo eléctrico de pila de combustible. . . . .	17
9	Ejemplos de algunos modelos de FCEV. . . . .	18
10	Esquema del vehículo eléctrico híbrido. . . . .	19
11	Ejemplo del modelo de HEV: Kia Sportage Hybrid. . . . .	19
12	Ejemplo del modelo de PHEV: Volkswagen Golf eHybrid. . . . .	20
13	Esquema general de conversión de energía en un aerogenerador. . . . .	21
14	Sistema de conversión eólica de velocidad fija. . . . .	22
15	Sistema de conversión eólica de velocidad variable con resistencia del rotor variable. . . . .	23
16	Sistema de conversión eólica de velocidad variable con generador doblemente alimentado. . . . .	23
17	Sistema de conversión eólica de velocidad variable con convertidores de capacidad completa. . . . .	24
18	Esquema general de conversión de la energía en trenes eléctricos. . . . .	24
19	Esquema de una catenaria que transporta corriente continua. . . . .	25
20	Esquema de una catenaria que transporta corriente alterna. . . . .	25
21	Ejemplos de algunos trenes eléctricos existentes en el mundo. . . . .	26
22	Componentes principales de los accionamientos eléctricos. . . . .	26
23	Partes de la máquina eléctrica. . . . .	27
24	Devanado trifásico espaciados $120^\circ$ . . . . .	28
25	Máquina asíncrona de rotor en jaula de ardilla. . . . .	29
26	Máquina asíncrona de rotor en anillos rozantes. . . . .	29
27	Máquina síncrona de rotor bobinado con polos salientes. . . . .	30
28	Máquina síncrona de rotor bobinado con polos lisos. . . . .	30
29	Máquina síncrona de imanes permanentes montados en la superficie. . . . .	31
30	Máquina síncrona de imanes permanentes insertados en el interior del rotor. . . . .	31
31	Clasificación de los convertidores según las señales de entrada y de salida. . . . .	32
32	Transistor BJT. . . . .	33
34	Transistor MOSFET. . . . .	33
36	Transistor IGBT. . . . .	34
38	Variable eléctrica en el sistema de referencia estacionario $abc$ y $\alpha-\beta$ . . . . .	35
39	Representación de los estados de conmutación en los subespacios $\alpha-\beta$ (izquierda) y $x-y$ (derecha) para el accionamiento con VSC-2L. . . . .	36
40	Variable eléctrica en el sistema de referencia $d-q$ . . . . .	36
41	Esquema de control IRFOC para accionamiento eléctrico trifásico. . . . .	38

42	Esquema de control DTC en accionamiento eléctrico trifásico. . . . .	39
43	Esquema de control MPC en accionamiento eléctrico trifásico. . . . .	39
44	Vectores de tensión disponibles en un accionamiento con dos VSC-2L. . . . .	41
45	Formas de la superficie aleteadas apropiadas en la máquina eléctrica. . . . .	45
47	Ventana de Design View. . . . .	47
48	Ventana de Code View. . . . .	48
49	Proceso del desarrollo de la herramienta software. . . . .	49
50	Paso 1 para exportar los datos en formato txt. . . . .	50
51	Paso 2 para exportar los datos a formato txt. . . . .	50
52	Imagen termográfica mostrada en dos formatos. . . . .	52
53	Comparación de las imágenes termográficas en formato is2. . . . .	52
54	Fragmentos de códigos del software para su ejecución. . . . .	53
55	Estado de inicio del software. . . . .	54
56	Thermo ED en versión inglés. . . . .	55
57	Thermo ED en versión coreano. . . . .	56
58	Ventana que aparece al IMPORTAR DATOS. . . . .	57
59	Botón IMPORTADO tras selección del fichero *.txt. . . . .	57
60	Actualización del texto del botón “Mostrar la imagen e información de los datos seleccionados”. . . . .	58
61	Ventana de error para cada condición incumplida. . . . .	59
62	Imagen termográfica mostrada. . . . .	60
63	Instrucción para el modo de selección de datos por zona cuadrada. . . . .	61
64	Zona cuadrada marcada en rojo. . . . .	61
65	Zona cuadrada marcada en azul. . . . .	62
66	Datos obtenidos con el modo de selección por zona cuadrada. . . . .	62
67	Instrucción para el modo de selección de datos por punto/s. . . . .	63
68	Zonas marcadas pertenecientes a cada punto seleccionado. . . . .	63
69	Instrucción para eliminar las zonas no pertenecientes al componente. . . . .	64
70	Zonas eliminadas, delimitadas por líneas blancas para el cálculo. . . . .	64
71	Esquema de búsqueda de puntos para delimitar la zona. . . . .	65
72	Información de todos los datos seleccionados. . . . .	66
73	Temperaturas en cada zona del punto seleccionado. . . . .	66
74	Esquema del accionamiento eléctrico hexafásico. . . . .	68
75	Máquina eléctrica de inducción hexafásica. . . . .	69
76	Convertidor VSC-2L. . . . .	69
77	Fuente de alimentación de corriente continua. . . . .	70
78	Máquina de corriente continua. . . . .	70
79	Resistencias añadidas al estátor de la máquina. . . . .	71
80	Salida de tensión generada en el subespacio $x$ - $y$ . . . . .	71
81	Ensayo 1 - Imágen termográfica de la máquina de inducción hexafásica después de los 5 min de funcionamiento. . . . .	72
82	Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la máquina de inducción hexafásica. . . . .	73
83	Ensayo 1 - Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L. . . . .	75
84	Ensayo 2 - Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L. . . . .	76



---

85	Ensayo 1 - Imágenes termográficas de la fuente de alimentación de corriente continua.	77
86	Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la fuente de alimentación de corriente continua.	78
87	Ensayo 1 - Imágenes termográficas de la máquina de corriente continua. . . . .	79
88	Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la máquina de corriente continua. . . . .	80
89	Ensayo 1 - Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina. . . . .	82
90	Ensayo 2 - Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina. . . . .	83
91	Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L en el Ensayo 1 a los 3 min de funcionamiento, obtenidas para la comparación. . . . .	84
92	Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina en el Ensayo 1 a los 3 min de funcionamiento, obtenidas para la comparación. . . . .	86

## Índice de tablas

1	Ensayo 1 - Temperaturas de la máquina de inducción hexafásica obtenidas con Thermo ED. . . . .	73
2	Ensayo 2 - Temperaturas de la máquina de inducción hexafásica obtenidas con Thermo ED. . . . .	74
3	Ensayo 1 - Temperaturas de los convertidores VSC-2L obtenidas con Thermo ED. . . . .	75
4	Ensayo 2 - Temperaturas de los convertidores VSC-2L obtenidas con Thermo ED. . . . .	76
5	Ensayo 1 - Temperaturas de la fuente de alimentación de corriente continua obtenidas con Thermo ED. . . . .	78
6	Ensayo 2 - Temperaturas de la fuente de alimentación de corriente continua obtenidas con Thermo ED. . . . .	79
7	Ensayo 1 - Temperaturas de la máquina de corriente continua obtenidas con Thermo ED. . . . .	80
8	Ensayo 2 - Temperaturas de la máquina de corriente continua obtenidas con Thermo ED. . . . .	81
9	Ensayo 1 - Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina obtenidas con Thermo ED. . . . .	82
10	Ensayo 2 - Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina obtenidas con Thermo ED. . . . .	83
11	Temperaturas de los convertidores VSC-2L a los 3 minutos de funcionamiento en el Ensayo 1. . . . .	85
12	Error relativo de temperaturas con respecto a la imagen original de convertidores VSC-2L. . . . .	85
13	Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina a los 3 minutos de funcionamiento en el Ensayo 1. . . . .	86
14	Error relativo de temperaturas con respecto a la imagen original de las resistencias añadidas al estátor de la máquina. . . . .	87

# 1. Introducción

La transición energética hacia fuentes de energías renovables es un reto que se está llevando a cabo actualmente en todo el mundo debido a los efectos del cambio climático y a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para acelerar esta transición energética, se está abandonando gradualmente la dependencia en el uso de los combustibles fósiles y se está moviendo hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, por lo que todos los sectores industriales están implicados en reducir las emisiones de los gases.

Uno de los sectores con más emisiones de gases es el de la generación de energía eléctrica. Según los datos de la producción de energía eléctrica por distintas fuentes de energía a nivel mundial en 2022, recogidos en Our World in Data [1], las fuentes de energía con emisiones de gases como gas natural, petróleo y carbón, siguen siendo líderes como se puede observar en la Figura 1.

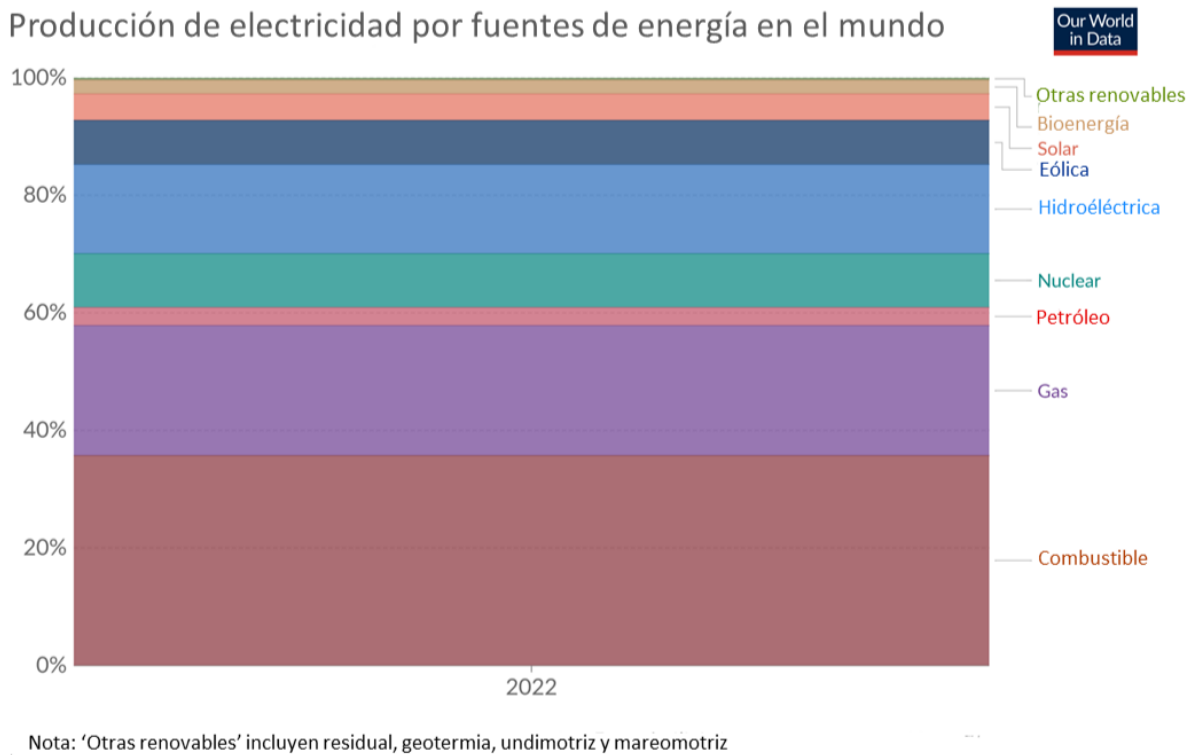


Figura 1: Producción de energía eléctrica por distintas fuentes de energía en 2022 a nivel mundial.

Fuente: [1]

Con el fin de reducir el uso de dichas fuentes de energía, una de las fuentes de energías que más se está implementando actualmente es la energía eólica. La potencia eólica instalada a nivel mundial en 2021, ha alcanzado los 837 GW según los datos del Global Wind Energy Council (GWEC) [2]. Este incremento ha contribuido a evitar la emisión de más de 1.200 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) anualmente. El año 2021 se posiciona como el segundo mejor año en la historia de la industria eólica a nivel global, con la adición de 93,6 GW de capacidad instalada, como se puede apreciar en la Figura 2, tras el crecimiento récord que se alcanzó en 2020, que fue

un 1,8 % superior. Se espera que hasta el año 2026 se instalará 557 GW más de potencia de energía eólica.

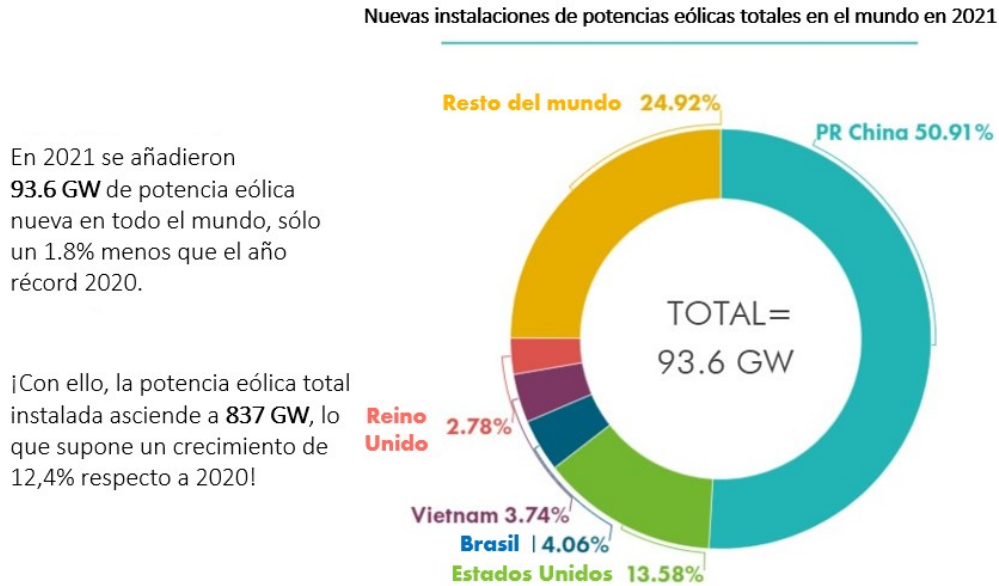


Figura 2: Potencia eólica instalada en 2021.

Fuente: [2]

Otro de los sectores con más emisiones es el de la movilidad. El aumento del uso de los vehículos eléctricos y la reducción del uso de los vehículos de combustión reducirán sus emisiones de manera notable. Las ventas de los vehículos eléctricos en 2022 han superado los 10 millones y para el final de 2023 se prevé que las ventas alcanzarán hasta 14 millones según los datos recopilados en International Energy Agency (IEA) [3] como se puede observar en la Figura 3. Se espera que el impulso de las ventas se vea respaldado por las distintas políticas nacionales y que junto al incesante aumento de los combustibles derivados del petróleo puedan llegarse pronto a altos niveles de descarbonización. Se estima que la sustitución completa de los vehículos de combustión a los vehículos eléctricos permitiría una descarbonización del 16 % de la emisión global.

Estas tecnologías mencionadas, entre otras muchas, desarrollan en su funcionamiento procesos de conversión de energía. Estos procesos de conversión se llevan a cabo utilizando accionamientos eléctricos, que son sistemas capaces de convertir la energía eléctrica en energía mecánica o viceversa, de manera eficiente y controlada. Los accionamientos eléctricos desempeñan un papel muy importante en el campo de la ingeniería debido a la gran versatilidad que presentan, por lo que disponen de numerosas aplicaciones además de la energía eólica y los vehículos eléctricos, como propulsión eléctrica naval [4], tracción ferroviaria [5], aeronaves eléctricas [6] y otras muchas.

La eficiencia de los accionamientos eléctricos depende principalmente de la tecnología del convertidor electrónico de potencia y de la estrategia del sistema de control empleadas en el accionamiento y de la propia máquina, por lo que actualmente se desarrollan distintas técnicas de control de altas prestaciones. Estas técnicas de regulación se desarrollan con distintos abordajes como por ejemplo, control vectorial [7], control predictivo basado en modelo [8] y técnicas metaheurísticas [9]. Es importante tener en cuenta que la eficiencia de los accionamientos

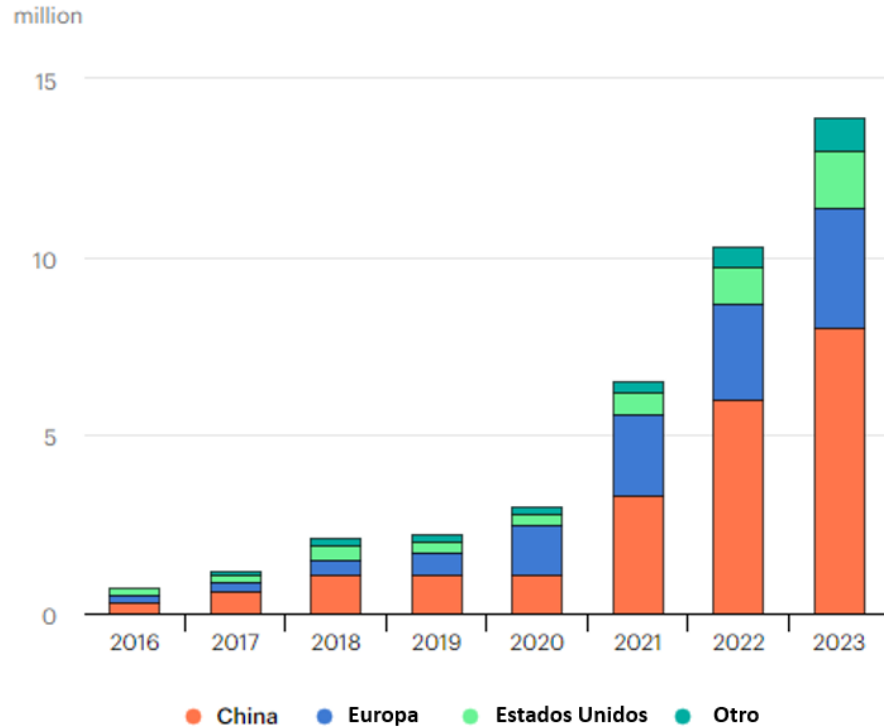


Figura 3: Ventas de vehículos eléctricos entre 2016-2023.

Fuente: [3]

eléctricos depende también de las temperaturas alcanzadas por cada componente, sobretodo, en la máquina eléctrica [10]-[12], cuyo calentamiento puede dar lugar a cambios significativos en algunos parámetros de la máquina y esto puede afectar de manera notable a algunas de estas estrategias de control de altas prestaciones. Por ello, existe un método basado en el uso de la red neuronal para estimar la temperatura alcanzada por la máquina eléctrica en tiempo real [13], pero tiene la desventaja de que es un método complejo de implementar.

Ante la necesidad de conseguir conversiones de energía más eficientes posibles del accionamiento eléctrico con prevención y detección de fallos en su funcionamiento de una forma rápida y sencilla, se propone por tanto, desarrollar una herramienta software que permita visualizar y caracterizar el comportamiento térmico de accionamientos eléctricos mediante las imágenes proporcionadas por una cámara termográfica.

## 2. Antecedentes y objeto

La caracterización térmica de los accionamientos eléctricos multifásicos permite evaluar y comprender la distribución y la disipación del calor que tiene lugar cuando están en funcionamiento. Esto implica medir y analizar las temperaturas en diferentes puntos de cada componente de los accionamientos eléctricos. Con la obtención de los datos precisos sobre las temperaturas, se pueden identificar puntos calientes y zonas críticas que requieren atención para evitar el sobrecalentamiento y el deterioro prematuro de los componentes.

Una de las formas para caracterizar térmicamente los accionamientos eléctricos multifásicos es empleando el uso de la cámara termográfica. En [14], se verifica la validación del uso de esta metodología, detectando los fallos en los motores de inducción mediante los resultados de los experimentos realizados. Estos experimentos han permitido observar la evolución de las pérdidas de energía en forma de calor, las cuales se generan durante el proceso de conversión de energía eléctrica a energía mecánica en el motor de inducción. Se ha podido analizar el funcionamiento del motor en modo sano así como cuando existe una cierta falta en el mismo. En [15], se comentan las aplicaciones que se dan con las cámaras termográficas en aplicaciones industriales, como por ejemplo:

- Aplicaciones eléctricas: Mantenimiento de las instalaciones eléctricas, monitorización del estado de los *switchgears* (aparellaje eléctrico) y sistemas de aislamiento, transformadores eléctricos, paneles fotovoltaicos, generadores síncronos, motores eléctricos, baterías y vehículos eléctricos.
- Aplicaciones mecánicas: Evaluación de la integridad estructural, impresión 3D, desgaste del flanco de herramienta, sector plástico, espumas metálicas, plásticos reforzados con fibras, procesos de soldadura y montaje de la estructura metal-polímero-metal.
- Otras aplicaciones industriales: Diseño asistido por computadora, codificación alfanumérica, almacenamiento de energía, proceso de secado, industria alimenticia, sector ferroviario, sector aeroespacial, sinterización y eliminación de minas terrestres.

Como se puede observar, son muchas las aplicaciones donde el uso de la cámara termográfica resulta de gran utilidad, ya que el hecho de conocer las temperaturas de una manera rápida y poco invasiva permite detectar fallos sin paradas técnicas añadidas, mantener la continuidad del proceso industrial y reducir el coste añadido de estas tareas.

Por tanto, el objetivo de este Trabajo Fin de Grado es desarrollar una herramienta software o aplicación que facilite al usuario caracterizar térmicamente un accionamiento eléctrico mediante el uso de la cámara termográfica. Este software o aplicación permitirá visualizar las temperaturas en diferentes puntos o zonas de cada componente del accionamiento eléctrico multifásico, como puede ser temperaturas medias, mínimas y máximas. Para validar el funcionamiento de la ejecución del software creado, se caracterizará térmicamente el accionamiento eléctrico del grupo de investigación ACETI situado en el laboratorio 3507-II de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga usando una cámara como la incluida en la Figura 4 y cuya ficha técnica se puede consultar en el Anexo A.

Además del objetivo principal mencionado anteriormente, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos transversales:

- Mejorar las competencias en programación.
- Adquirir los conocimientos en el tratamiento de las imágenes termográficas.
- Actualización del estado de arte de los softwares.
- Mejorar la habilidad de la redacción de la memoria técnica.



Figura 4: Cámara termográfica Fluke Ti9.

### 3. Accionamientos eléctricos

Los accionamientos eléctricos, como se ha comentado con anterioridad, son sistemas capaces de convertir la energía eléctrica en energía mecánica o viceversa, de manera controlada y eficiente. Para la conversión de energía se realiza el control de una de las variables mecánicas del sistema, como puede ser la velocidad, el par o la posición, a través de la actuación sobre las variables eléctricas existentes, así como de una serie de variables eléctricas, típicamente, la corriente eléctrica.

#### 3.1. Aplicaciones de los accionamientos eléctricos

Son muchas las aplicaciones en las que se emplean los accionamientos eléctricos debido a la gran versatilidad comentada. A continuación, se describen algunos ejemplos de las aplicaciones de altas prestaciones en la actualidad.

##### 3.1.1. Vehículos eléctricos

El sector automovilístico se está enfocando cada vez más en la adopción de los vehículos eléctricos (VE) para un mundo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Esta tendencia se ve impulsada por la circulación de vehículos cada vez más restrictivos en las carreteras y por las ayudas proporcionados por los gobiernos como subvenciones y beneficios fiscales que ayudan a que los consumidores puedan optar más por la movilidad eléctrica [16]. Además, también se ve impulsada por la continua innovación en las tecnologías de los VE como son baterías, sistemas de carga y conversiones de energía eficientes. Es por ello que cada vez van apareciendo más modelos y más fabricantes de los VE en la actualidad. Por tanto, la investigación y el desarrollo continuos de los accionamientos eléctricos aplicados a los VE jugarán un papel muy importante en este contexto.

La función que tiene el accionamiento eléctrico en cualquier vehículo eléctrico es generar suficiente potencia para la propulsión del mismo, intentando maximizar la autonomía del vehículo mediante una alta eficiencia. La máquina eléctrica en los VE funciona normalmente en modo motor, pudiendo funcionar en modo generador en el caso de que cuente con la tecnología de frenada regenerativa. El esquema general de los VE se muestra en la Figura 5.

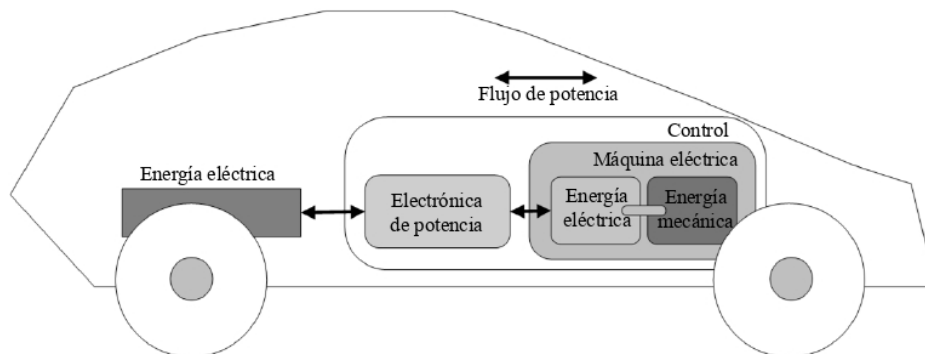


Figura 5: Esquema general de conversión de energía en vehículos eléctricos.

Fuente: [17]

Existen diversos tipos de VE, siendo los más destacados los siguientes:

- 100 % eléctricos

También conocidos como BEV (Battery Electric Vehicles), son vehículos puramente propulsados única y exclusivamente por los motores eléctricos (Figura 6). Estos vehículos tienen una o una serie de baterías que suministran energía al vehículo para su propulsión. El número de baterías tiene que ser el adecuado para llegar a la autonomía deseada y no tiene que generar inconvenientes como falta de espacio en el interior del vehículo, el aumento de peso y de coste. Para mejores prestaciones de los sistemas de almacenamiento, existen numerosas investigaciones para el desarrollo de las tecnologías de las baterías, siendo las más competitivas hasta hoy en día las baterías de estado sólido.

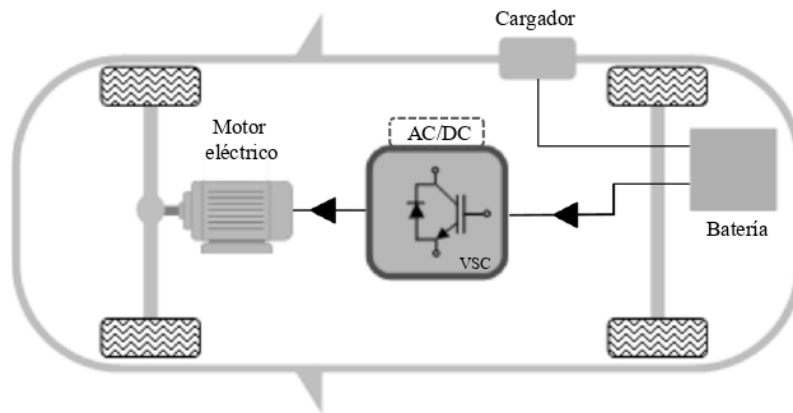


Figura 6: Esquema del vehículo 100 % eléctrico.

Fuente: [17]

La batería de estado sólido es una evolución de la batería ión-litio. Tiene el mismo principio de funcionamiento que la batería de ión-litio pero la diferencia está en que esta batería utiliza electrolito sólido en vez de electrolito líquido. El hecho de utilizar electrolito sólido en vez de líquido presenta la ventaja de que puede almacenar más energía, tiene menor peso, tiene menor tiempo de recarga y presenta mejor seguridad [18].

Algunos ejemplos de los modelos de BEV son: Tesla Model 3, que tiene una autonomía de 629 km y Hyundai Kona Electric, 449 km que se muestran en la Figura 7.



Tesla Model 3 [19]



Hyundai Kona Electric [20]

Figura 7: Ejemplos de algunos modelos de BEV.

- Con pila de combustible

Se conocen como FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) y son vehículos eléctricos que utilizan pila de combustible para su propulsión. La electricidad para alimentar al motor eléctrico, se genera a través de la reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno que tiene lugar en la pila de combustible y emite sólo vapor de agua como producto residual. El hidrógeno se coge de un depósito de almacenamiento disponible y el oxígeno se toma del aire ambiente (Figura 8).

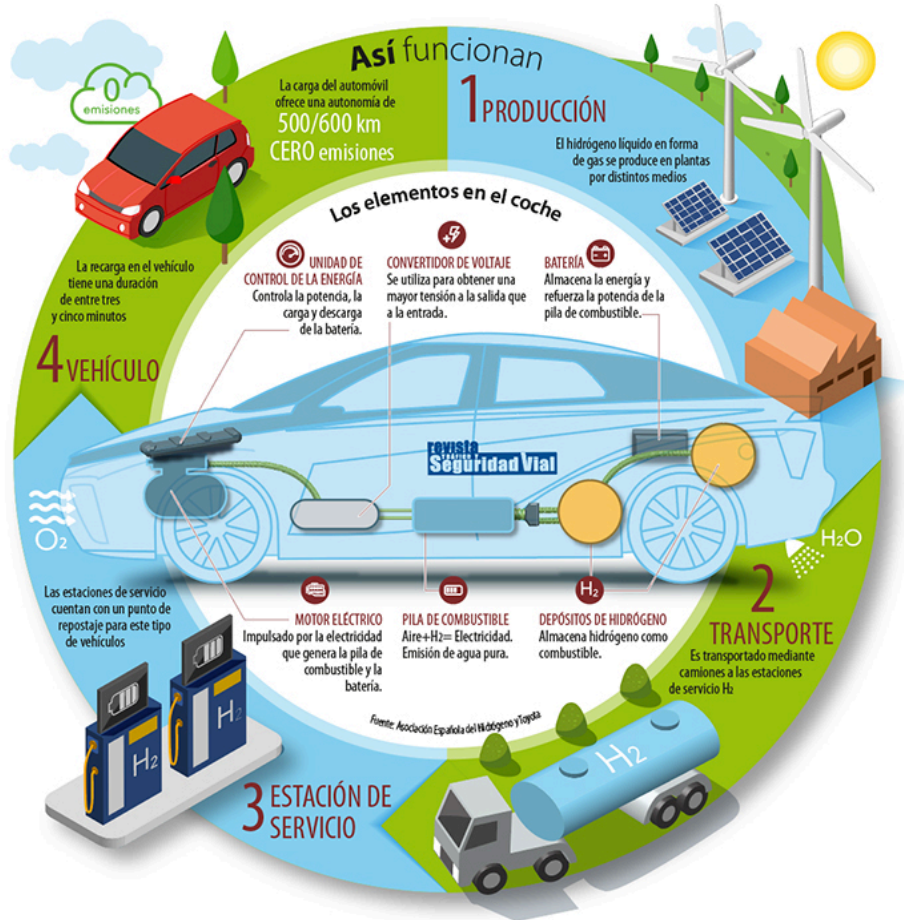


Figura 8: Esquema del vehículo eléctrico de pila de combustible.

Fuente: [21]

Los FCEV presentan mejores características que los BEV como mayor autonomía y menor tiempo de recarga, pero al ser una tecnología bastante compleja y costosa, es el tipo de VE menos adoptado en el sector de transporte actual. Para aumentar la adopción de estos vehículos, se tienen que resolver los siguientes desafíos a los que se enfrentan:

- **Infraestructura limitada:** La infraestructura de recarga de hidrógenos es mucho menor comparado con la de los BEV debido a que su construcción es costosa y requiere una inversión significativa.
- **Producción de hidrógeno:** La proporción del hidrógeno producido por las fuentes de energías renovables es menor que el producido por combustibles fósiles.
- **Almacenamiento y transporte de hidrógeno:** El hidrógeno requiere una tecnología de almacenamiento y transporte delicadas porque presentan características peligrosas como la facilidad de fuga, amplio rango de explosión, efectos de la fragilización y amplio rango de inflamabilidad [22].

Algunos ejemplos de los modelos de FCEV son: BMW iX5 Hydrogen, con una autonomía de 504 km y Hyundai Nexo, 666 km (Figura 9).



BMW iX5 Hydrogen [23]



Hyundai Nexo [20]

Figura 9: Ejemplos de algunos modelos de FCEV.

- Híbridos

Son vehículos que combinan el uso del motor eléctrico y el motor de combustión interna (Figura 10). Se destaca por la carga del sistema de baterías cuando esté funcionando el motor de combustión interna. Esto es posible gracias a la bidireccionalidad de flujo de potencia en el interior del vehículo.

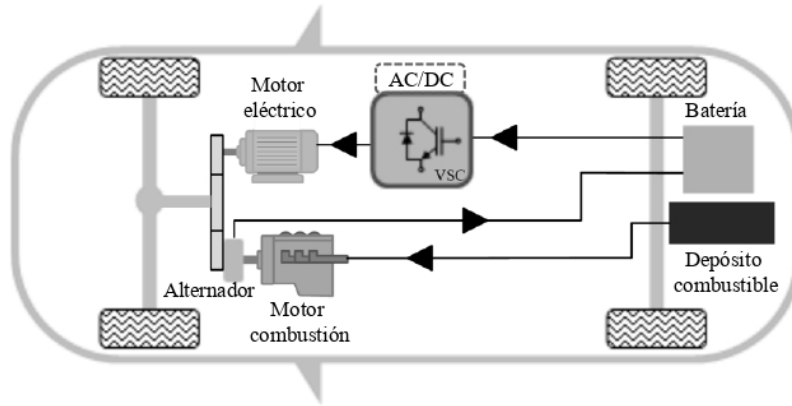


Figura 10: Esquema del vehículo eléctrico híbrido.

Fuente: [17]

Estos vehículos se pueden clasificar a su vez en:

- Híbridos enchufables

Se conoce también como HEV (Hybrid Electric Vehicle). El motor principal de estos vehículos es el de combustión y cuenta con el motor eléctrico y la batería como de respaldo, por lo que el tiempo de funcionamiento y la distancia que puede recorrer en modo eléctrico son pequeños. La batería que alimenta el motor eléctrico no es enchufable y se recarga con la frenada regenerativa o cuando esté funcionando con el motor de combustión interna. Un ejemplo de los modelos de HEV son: Kia Sportage Hybrid (Figura 11), que tiene un consumo combinado WLTP de 4,9 l/100km y 126 g/km de emisión del  $CO_2$ .



Figura 11: Ejemplo del modelo de HEV: Kia Sportage Hybrid.

Fuente: [24]

- Híbridos enchufables

También se conocen como PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Es similar a los HEV pero en estos vehículos la batería es enchufable y es de mayor capacidad que la del HEV. La batería se puede recargar enchufándola en estaciones de recargas disponibles para ello. También, el tiempo de funcionamiento y la distancia que puede recorrer en modo eléctrico es mayor que los HEV. El modelo Volkswagen Golf eHybrid es uno de los ejemplos de PHEV (Figura 12), con 72 *km* de autonomía eléctrica y 21 *g/km* de emisión del  $CO_2$  .



Figura 12: Ejemplo del modelo de PHEV: Volkswagen Golf eHybrid.

Fuente: [25]

Los elementos principales de los accionamientos eléctricos en los vehículos eléctricos son:

- Máquina eléctrica: Motor de corriente alterna puesto que son más eficientes, mejor densidad de potencia, menos costes de mantenimiento que el motor de corriente continua.
- Convertidores de tensión: Es el encargado de alimentar y actuar sobre el motor y/o para convertir la corriente continua aportada por las baterías en corriente alterna que puede hacer girar la máquina eléctrica en alterna, sea de imanes permanentes o de inducción. Adicionalmente, el VE puede contar con un convertidor de corriente continua para elevar la tensión proporcionada a las baterías del vehículo.
- Sistema de control: El esquema de control utilizado depende de las variables del motor eléctrico a controlar. Las técnicas de control más extendidas son el control indirecto de campo orientado, control directo de par [26] y control predictivo que se explicarán más adelante.

### 3.1.2. Sistemas de conversión eólica

En el sector de la generación de energía, el aumento de la proporción de la energía generada por fuentes renovables está siendo clave para la transición energética. La energía eólica es la fuente de energía renovable más empleada a nivel mundial después de la energía hidroeléctrica [1], como consecuencia de los continuos desarrollos e investigaciones por conseguir sistemas de conversión eólica más eficientes posibles.

Los parques eólicos terrestres existentes más grandes a nivel mundial son [27]:

- Base eólica de Jiquan o Parque eólico de Gansu, China: Es el parque eólico más grande del mundo y se prevé que alcanzará 20 *GW* de potencia generada con 7000 aerogeneradores. En 2021 se registró 10 *GW* de potencia generada.
- Parque eólico de Jaisalmer, India: Es el parque eólico más grande de India con 1600 *MW* de potencia. Su instalación se inició desde el año 2001.
- Centro de Energía Eólica de Alta, Estados Unidos: Tiene 1548 *MW* de potencia y es el tercer parque eólico más grande del mundo y el más grande de Estados Unidos.

En los sistemas de conversión eólica, se convierte la energía mecánica captada por las palas de los aerogeneradores en energía eléctrica por lo que el accionamiento eléctrico funciona como generador (Figura 13a).

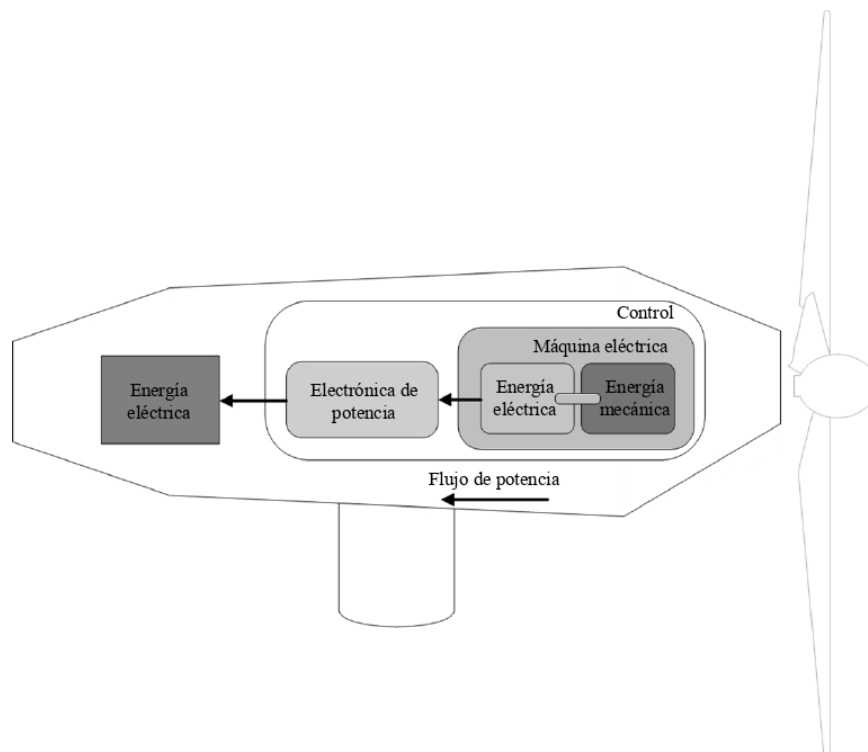


Figura 13: Esquema general de conversión de energía en un aerogenerador.

Fuente: [17]

El objetivo principal de los accionamientos eléctricos aplicados a la conversión eólica es maximizar la captación del viento por el aerogenerador para que la conversión de energía sea lo más eficiente posible. Los tipos de sistemas de conversión eólica más comunes son:

- De velocidad fija (Figura 14)

En estos sistemas, el generador eléctrico está conectado a la red con un transformador. El tipo de generador utilizado es una máquina asíncrona y el rotor del generador girará a una velocidad fija que es determinada por la frecuencia de la red y por el número de polos de estátor. Dispone de una caja de engranajes para que la velocidad del giro del rotor sea mayor que la velocidad del giro de los álabes del aerogenerador. En estos sistemas es necesario poner arrancadores suaves (o soft-starter) que son dispositivos utilizados para que el arranque de la máquina sea gradual limitando la corriente de arranque inicial.

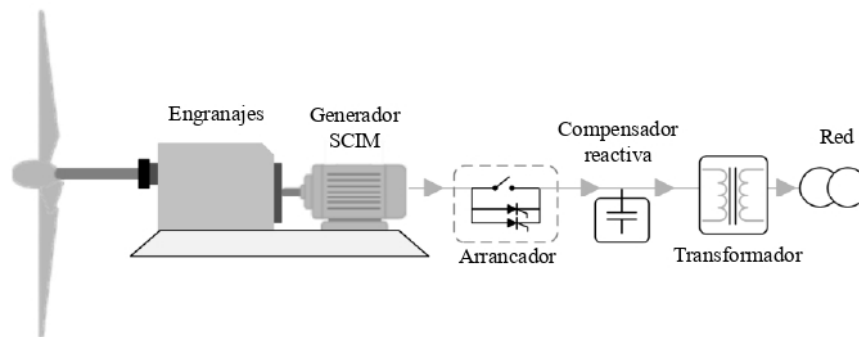


Figura 14: Sistema de conversión eólica de velocidad fija.

Fuente: [17]

- De velocidad variable con convertidores de capacidad reducida

El tipo de máquina eléctrica utilizado en estos sistemas es el generador de inducción, que permite obtener la variación de la velocidad del sistema con el convertidor que realiza el control de las corrientes del rotor sin necesidad de controlar el flujo de potencia del sistema. Se puede definir dos modos de conversión en estos sistemas:

- Empleando generador de inducción con rotor devanado y una resistencia del rotor variable (Figura 15). La variación de la velocidad se realiza por la regulación de la resistencia aparente percibida por el rotor mediante el convertidor. Al igual que el sistema de conversión eólica de velocidad fija, tiene el arrancador suave.

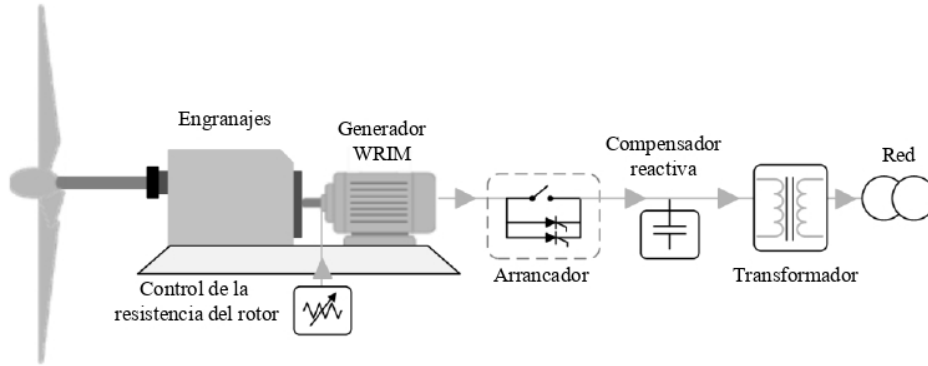


Figura 15: Sistema de conversión eólica de velocidad variable con resistencia del rotor variable.

Fuente: [17]

- Empleando generador de inducción doblemente alimentado sin la resistencia variable en el rotor y convertidores que realiza el control del deslizamiento (Figura 16). El sistema carece del arrancador suave.

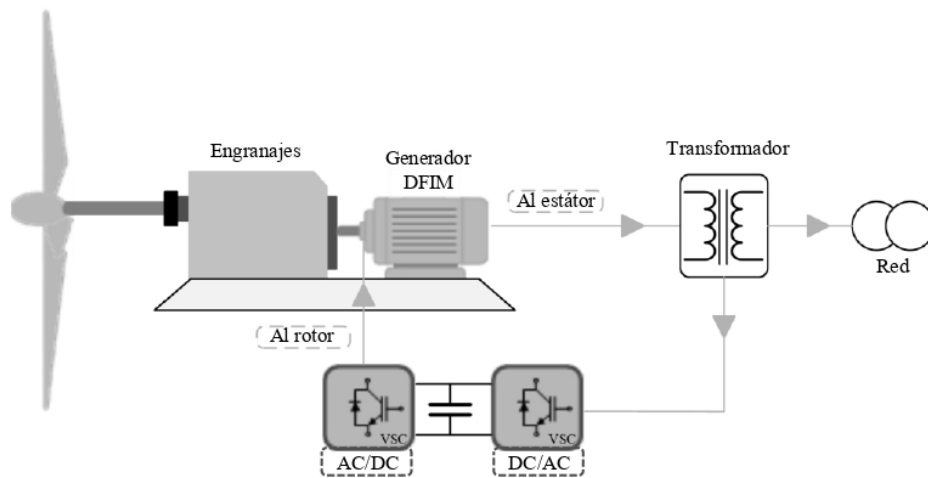


Figura 16: Sistema de conversión eólica de velocidad variable con generador doblemente alimentado.

Fuente: [17]

- De velocidad variable con convertidores de capacidad completa (Figura 17)

Se consigue un control total del generador a través de un sistema de convertidores de capacidad completa. Cuenta con posibilidad de utilizar distintos tipos de máquinas eléctricas, que puede ser máquina de inducción de jaula de ardilla, máquina síncrona con rotor devanado o máquina síncrona de imanes permanentes. Estos sistemas buscan el punto de máxima potencia o MPPT (Maximum Power Point Tracking) que es el punto que se da la máxima potencia para una velocidad del giro del rotor obtenida a través de la captación de una serie de diferentes velocidades del viento. El sistema de control utilizado mayoritariamente en estos sistemas es el esquema de control de campo orientado.

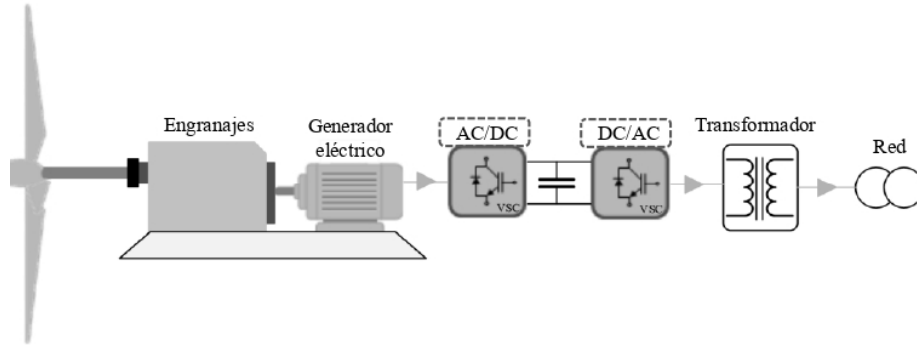


Figura 17: Sistema de conversión eólica de velocidad variable con convertidores de capacidad completa.

Fuente: [17]

### 3.1.3. Trenes eléctricos

La situación actual de los trenes eléctricos revela una tendencia hacia una mayor adopción de esta tecnología en todo el mundo debido a que es nominado como sistemas de transporte público eficientes y respetuosos con el medio ambiente en numerosas ciudades y regiones. Numerosas redes ferroviarias han optado por la electrificación, aprovechando los beneficios de los trenes eléctricos en términos de rendimiento y sostenibilidad.

El accionamiento eléctrico aplicado en los trenes eléctricos funciona como sistema motor para la propulsión y como sistema generador para el frenado (Figura 18).

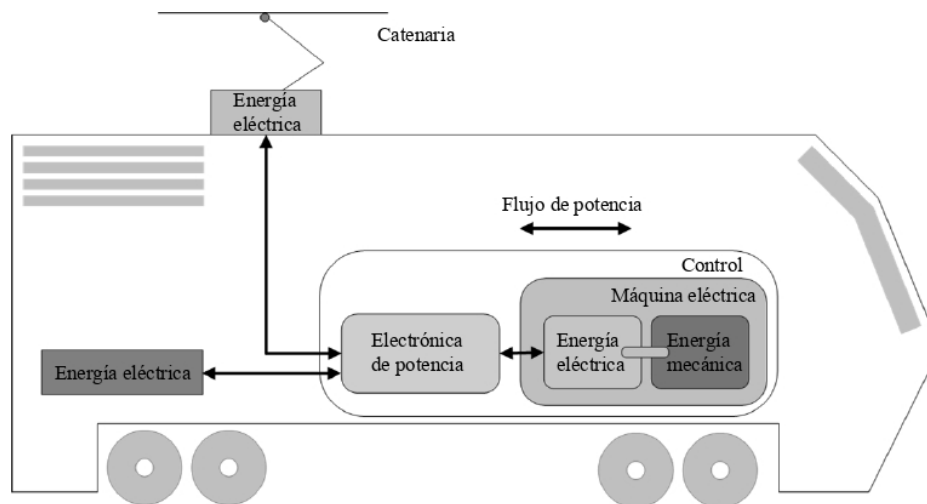


Figura 18: Esquema general de conversión de la energía en trenes eléctricos.

Fuente: [17]

Tiene como objetivo el seguimiento de la velocidad de referencia impuesta por el conductor. Los tipos de máquinas utilizados son máquinas asíncronas de jaula de ardilla y máquinas síncronas de imanes permanentes. Se pueden diferenciar dos formas de alimentar el motor del tren eléctrico:

- Catenaria conduciendo corriente continua (Figura 19): La corriente generada por la catenaria pasa a través del filtro inductivo para eliminar las componentes armónicas de alta frecuencia producidas por el convertidor y establecer una interacción inductiva entre la catenaria y el convertidor. Luego, esta corriente se suministra al convertidor que controla los motores del tren, así como al condensador que limita las fluctuaciones en el nivel de tensión percibido por el inversor. La rueda del tren se utiliza como punto de conexión a tierra para completar el circuito eléctrico.

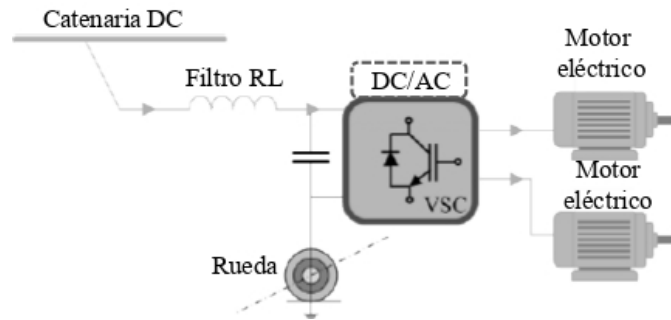


Figura 19: Esquema de una catenaria que transporta corriente continua.

Fuente: [17]

- Catenaria conduciendo en corriente alterna (Figura 20): En este caso se emplea el transformador para que la corriente generada por la catenaria se ajuste al nivel de la corriente de operación del accionamiento. Después se hace pasar por el rectificador para proporcionar al inversor una corriente estable. Por último, la corriente que sale del convertidor alimenta a los motores del tren. Entre el rectificador y el inversor se coloca un condensador para evitar fluctuaciones en el suministro de tensión.

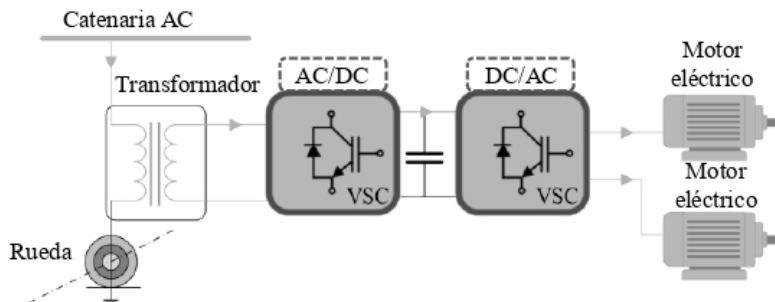


Figura 20: Esquema de una catenaria que transporta corriente alterna.

Fuente: [17]

Algunos de los trenes eléctricos existentes en el mundo son (Figura 21):

- Trenes de alta velocidad ICE (InterCity Express) en Alemania [28]: Son trenes que pueden alcanzar hasta  $300 \text{ km/h}$  de velocidad y permiten viajar entre las ciudades de Alemania y también disponen de conexiones con otros países de Europa como Dinamarca, Holanda, Bélgica, Francia, Suiza y Austria.
- Trenes de alta velocidad AVE en España [29]: Estos trenes tienen una velocidad media de  $222 \text{ km/h}$ . Gracias a la evolución reciente de estos trenes, se han registrado que en España se utilizan más de 400 millones de viajeros.



Trenes de alta velocidad ICE (Alemania)



Trenes de alta velocidad AVE (España)

Figura 21: Ejemplos de algunos trenes eléctricos existentes en el mundo.

### 3.2. Componentes de los accionamientos eléctricos

Como se ha mencionado anteriormente, son tres los principales componentes de los accionamientos eléctricos, se muestran en el esquema de la Figura 22.

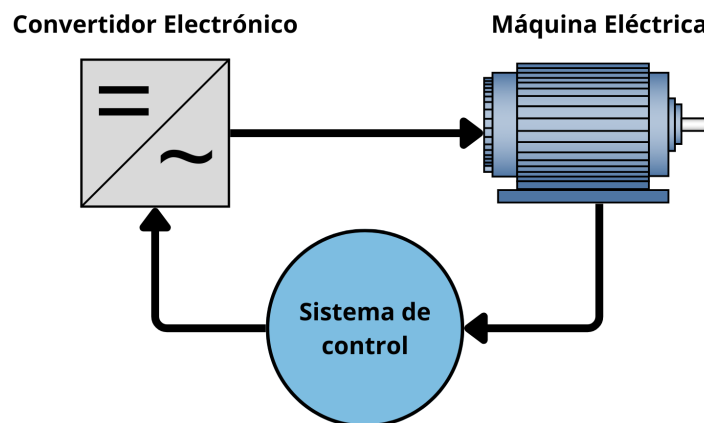


Figura 22: Componentes principales de los accionamientos eléctricos.

A continuación, se describen el funcionamiento de cada componente del accionamiento y sus tipologías.

### 3.2.1. Máquina eléctrica

Es el componente más importante de los accionamientos eléctricos, ya que es el encargado de realizar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica o viceversa. Son máquinas reversibles, es decir, el flujo de potencia es bidireccional, que funciona como sistema motor cuando la conversión es de energía eléctrica a energía mecánica o como sistema generador cuando la energía mecánica es convertida en energía eléctrica. Las partes principales de una máquina eléctrica se muestran en la Figura 23.

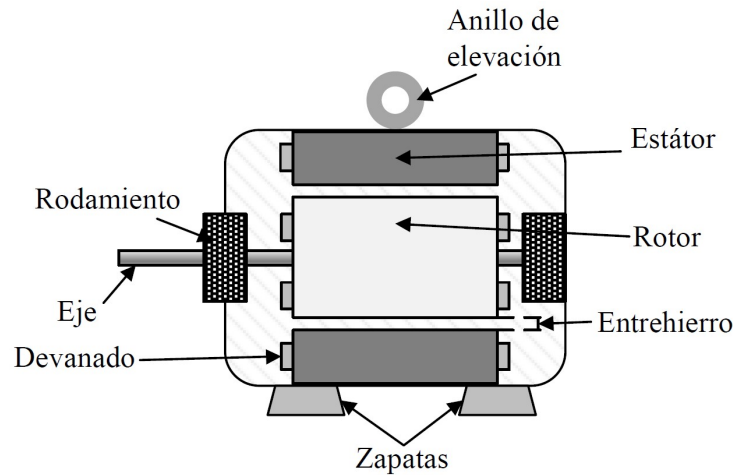


Figura 23: Partes de la máquina eléctrica.

Fuente: [17]

El estátor es la parte fija y suele tener una forma cilíndrica con cavidad en su interior. Entre dicha cavidad del estátor, se aloja el rotor, que es la parte móvil de la máquina y habitualmente contiene el eje. El espacio que hay entre el estátor y el rotor se denomina entrehierro y debido a su existencia, la máquina puede girar. Normalmente, salvo algunos tipos de máquinas como máquinas de imanes permanentes o máquinas asíncronas de jaula de ardilla que se definirán más adelante, tanto en el estátor como en el rotor tiene a su alrededor devanado, que es una estructura de conductores enrollados que genera flujo magnético (inductor) o recibe el flujo inducido (inducido). En el exterior del estátor se encuentra la carcasa, que es la cubierta exterior de la máquina, y en ella, se encuentran los rodamientos, que son partes de apoyo del eje de la máquina, el anillo y las zapatas, que son elementos encargados de sujetar la máquina eléctrica.

Las máquinas eléctricas se pueden clasificar según el tipo de corriente que se usa para alimentarlas: máquinas de corriente continua y máquinas de corriente alterna. Actualmente, en casi todos los accionamientos eléctricos, la máquina eléctrica que utiliza es la máquina de corriente alterna, puesto que presentan ventajas sobre la máquina continua como el menor coste de fabricación y menor necesidad de mantenimiento [30]. Por ello, se centrará más en la explicación sobre las máquinas de corriente alterna en este trabajo.

Las máquinas de corriente alterna se pueden clasificar en:

- Máquinas asíncronas

También se conocen como máquina de inducción. El principio de funcionamiento de esta máquina se basa en la diferencia de velocidad existente entre el campo magnético giratorio del estátor y del rotor. El campo magnético rotativo es consecuencia de la circulación de una corriente eléctrica trifásica en el devanado trifásico del estátor, que está compuesto por tres bobinas desfasadas  $120^\circ$  entre sí (Figura 24). Dicho campo magnético tendrá una velocidad de giro que se conoce como velocidad de sincronismo  $\omega_s$ . La velocidad del campo del rotor  $\omega_r$  debe ser diferente a la de sincronismo debido a que los arrollamientos del rotor necesitan ver un flujo variable para que se induzca una tensión. Si el campo magnético no fuera visto como variable, de acuerdo con la Ley de Faraday [30], no induciría fuerza electromotriz y por tanto, no circularía corriente eléctrica en el rotor.

La diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad de rotor, se denomina como velocidad de deslizamiento  $\omega_{sl}$ , cuya expresión es:

$$\omega_{sl} = \omega_s - \omega_r \quad (1)$$

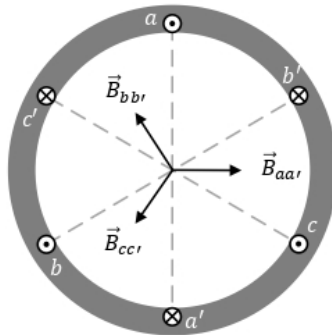


Figura 24: Devanado trifásico espaciados  $120^\circ$ .

Fuente: [17]

Según las características del rotor de la máquina, las máquinas asíncronas se puede clasificar en:

- Con rotor en jaula de ardilla (Figura 25): El rotor está compuesto por una serie de barras que están conectadas en cortocircuito mediante dos anillos metálicos en los extremos. Entre esas series de barras se colocan varias láminas del mismo material que se utiliza para el estátor con el fin de aumentar la permeabilidad magnética del rotor.

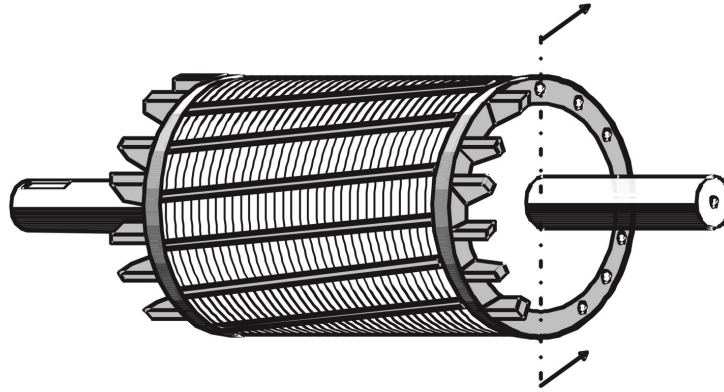


Figura 25: Máquina asíncrona de rotor en jaula de ardilla.

Fuente: [30]

- Con rotor devanado o con anillos (Figura 26): El rotor tiene una forma similar al estátor, con un núcleo laminado y un devanado eléctrico dispuesto en el perímetro exterior del rotor. Existen tres anillos rozantes montados en el extremo del devanado eléctrico que están conectados eléctricamente a cada una de las fases para alimentar el devanado eléctrico del rotor.

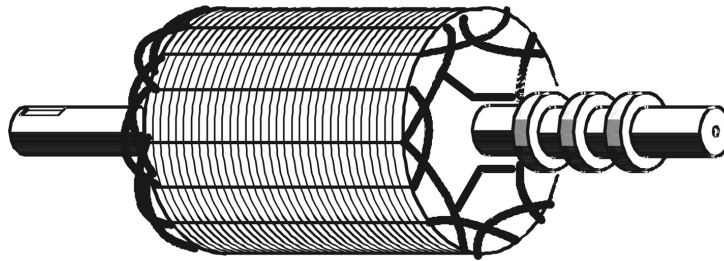


Figura 26: Máquina asíncrona de rotor en anillos rozantes.

Fuente: [30]

■ Máquinas síncronas

A diferencia de las máquinas asíncronas, en estas máquinas, la velocidad del giro del campo del rotor está en sincronismo con el campo magnético generado en los devanados del estátor. En consecuencia, la velocidad mecánica del campo del estátor viene determinada por la frecuencia de la red de alimentación  $f$  y por el número de polos  $p$ :

$$\omega_s = 2 \cdot \pi \cdot f / p \quad (2)$$

El principio de funcionamiento de este tipo de máquinas se basa en el sincronismo de la velocidad del campo del estátor y el rotor.

Según la forma del rotor de la máquina, se puede clasificar en:

- De rotor bobinado: El campo magnético es generado por los devanados del rotor que se alimentan con corriente continua a través de los anillos rozantes. Estos anillos están conectados mediante unas escobillas a la fuente de alimentación de corriente continua. Según la disposición de las bobinas sobre el rotor, se pueden clasificar en:
  - Rotor de polos salientes (Figura 27): Los arrollamientos de los devanados se distribuyen de manera concentrada alrededor de los núcleos polares, los cuales están simétricamente posicionados a lo largo del perímetro del rotor.

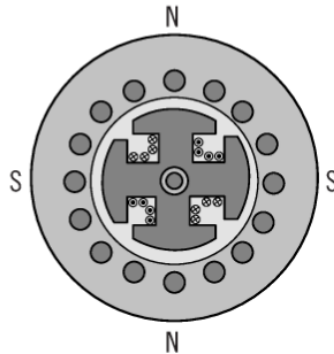


Figura 27: Máquina síncrona de rotor bobinado con polos salientes.

Fuente: [31]

- Rotor de polos lisos (Figura 28): Los devanados se sitúan en una serie de ranuras que se han mecanizado previamente en el rotor.

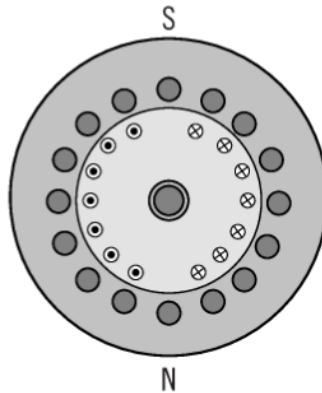


Figura 28: Máquina síncrona de rotor bobinado con polos lisos.

Fuente: [31]

- De imanes permanentes: Se genera el flujo magnético usando una serie de imanes existentes en el rotor. A diferencia de las máquinas síncronas de rotor bobinado, estas carecen de devanados en el rotor y en su lugar utiliza materiales como la ferrita o tierras raras para establecer el campo magnético. Se puede clasificar en función de la localización de los imanes en el rotor:

- o Imanes montados en la superficie (Figura 29a): Los imanes se colocan mediante adhesivos en la superficie del rotor. El entrehierro existente entre el núcleo del rotor y el estátor se encuentra uniformemente distribuido.

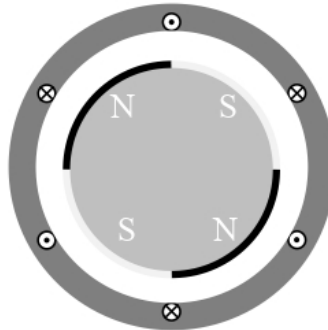


Figura 29: Máquina síncrona de imanes permanentes montados en la superficie.

Fuente: [17]

- o Imanes insertados en el interior del rotor (Figura 30): Los imanes se encuentran ubicados en el interior del rotor, lo que fortalece la resistencia de la máquina al disminuir la tensión mecánica experimentada por los imanes. Además, este diseño aumenta el par motor generado debido al efecto del par de reluctancia, ya que estos motores exhiben una característica de saliencia electromagnética.

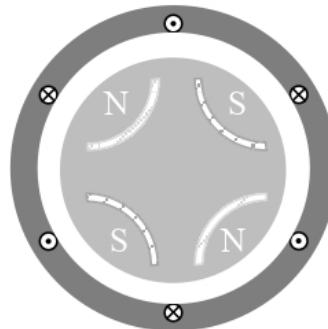


Figura 30: Máquina síncrona de imanes permanentes insertados en el interior del rotor.

Fuente: [17]

#### 3.2.2. Convertidor electrónico de potencia

Es la parte del accionamiento eléctrico que funciona como actuador de los accionamientos eléctricos y se encarga de convertir las características de la energía eléctrica como la tensión, la corriente, la amplitud y la frecuencia de la señal a otras características deseadas. Se pueden clasificar según la naturaleza de las señales de entrada y de salida (Figura 31):

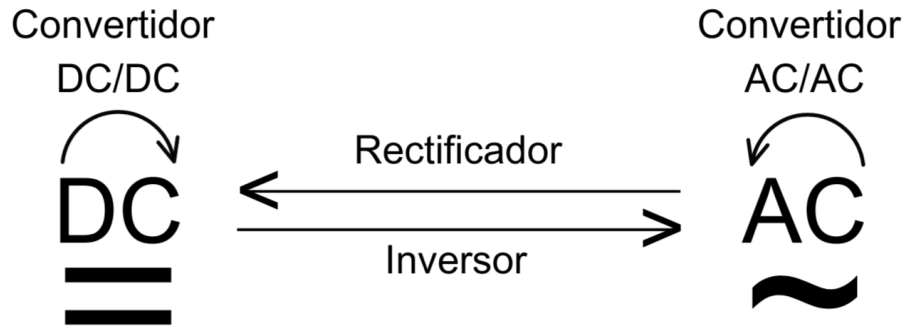


Figura 31: Clasificación de los convertidores según las señales de entrada y de salida.

- Convertidor AC/DC o rectificador: Realiza la conversión de la señal alterna, (monofásica, trifásica o multifásica) en la señal continua.
- Convertidor DC/AC o inversor: Realiza la función inversa al rectificador.
- Convertidor DC/DC: Realiza la conversión de una señal continua a otra señal continua también pero con una mayor o menor magnitud.
- Convertidor AC/AC: Realiza la conversión de la señal alterna con cierto valor eficaz y frecuencia a otra señal alterna también de menor o mayor valor eficaz con la misma frecuencia o frecuencia modificada.

También se puede clasificar según el número de niveles de tensión que ofrecen:

- Convertidores de dos niveles (2L): En su diseño, se emplea el número mínimo de interruptores necesario para facilitar la conversión de energía eléctrica de corriente continua a corriente alterna, o viceversa.
- Convertidores multinivel: Para lograr una calidad de señal equivalente a los de dos niveles, requieren un mayor número de interruptores y una frecuencia de conmutación más baja.

Los convertidores más empleados en los accionamientos eléctricos para las aplicaciones mencionadas anteriormente, son los denominados convertidores trifásicos controlados de dos niveles VSC-2L (siglas en inglés de Two Level Voltage Source Converter) formados por 6 interruptores, cuyo estados de conmutación son  $2^3 = 8$ . Cada 2 interruptores forman una rama que funcionan como un convertidor monofásico de dos niveles y por tanto, se tienen 3 ramas conectados en paralelo.

Los convertidores están formados por dispositivos semiconductores, que son componentes electrónicos cuya función es la conmutación, es decir, cerrar o abrir el circuito para permitir o no el paso de corriente. Los dispositivos semiconductores más empleados son los siguientes:

- Transistor de unión bipolar o BJT (Bipolar Junction Transistor) (Figura 32): Se caracteriza por ser un dispositivo totalmente controlable en su funcionamiento. Se compone de tres terminales que son emisor, fuente y colector. El paso de la corriente se controla según el valor de la corriente aplicada en la base (B); si no se aplica ninguna corriente en la base, el

transistor está apagado y si se aplica un valor de la corriente suficiente, permite el paso de la corriente.

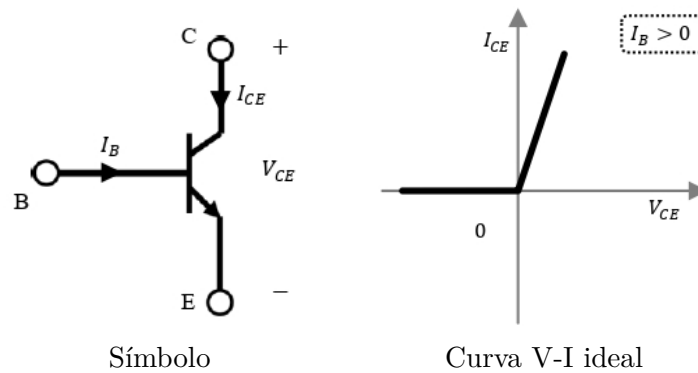


Figura 32: Transistor BJT.

Fuente: [17]

- Transistor MOSFET o JFET (Junction Field Effect Transistor) (Figura 34): Se caracteriza por la conducción producida por la existencia de campos eléctricos. Se compone de tres terminales que son drenador (D), fuente (F) y puerta (G). El transistor MOSFET es controlado por tensión, de forma que la conducción de la corriente entre el drenador y la fuente se active cuando existe una diferencia de potencial. Su conmutación es rápida y tiene baja disipación de energía.

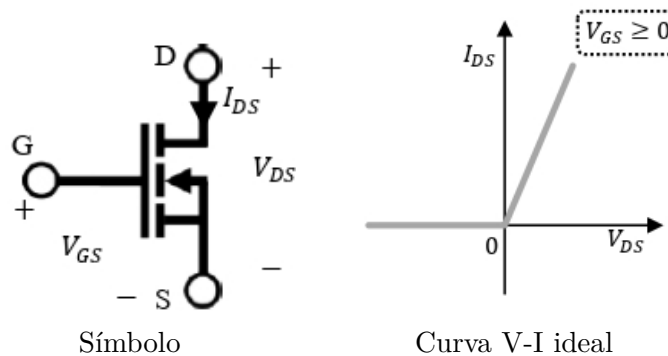


Figura 34: Transistor MOSFET.

Fuente: [17]

- Transistor bipolar de puerta aislada o IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) (Figura 36): Es un dispositivo con las características de las ventajas de los transistores BJT y MOSFET. Del transistor BJT tiene la capacidad de conducir elevadas corrientes con poca caída de tensión y del transistor MOSFET, la facilidad de control de disparo por tensión. Tiene una elevada velocidad de conmutación y baja disipación de energía en conducción de corriente.

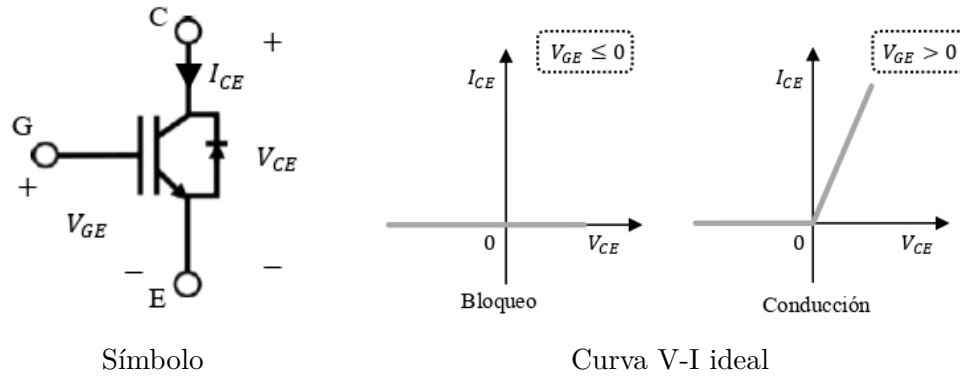


Figura 36: Transistor IGBT.

Fuente: [17]

Los dos últimos semiconductores son los que compondrán los convertidores incluidos en el VSC empleado en este trabajo.

En los convertidores, es importante tener en cuenta la temperatura de unión (junction temperature en inglés) de los semiconductores. Esta es la máxima temperatura del semiconductor en el dispositivo VSC. Si el semiconductor excediera dicha temperatura, ocasionaría efectos negativos en el funcionamiento del convertidor y por tanto, disminuiría la eficiencia del convertidor. Existen varios trabajos basados en el desarrollo de métodos para la estimación de la temperatura de unión en los semiconductores como control térmico activo y motorización del estado [32].

### 3.2.3. Sistema de control

El sistema de control se encarga de regular el funcionamiento de la máquina eléctrica de corriente alterna enviando las acciones de control necesarias al convertidor electrónico de potencia una vez recibida la información medida por los sensores. El sistema de control tiene dos partes principales: unidad de control que es la unidad física y el esquema de control, que es el algoritmo de regulación del accionamiento. El esquema de control tiene como objetivo, típicamente, regular las variables mecánicas que son la velocidad, el par y el flujo magnético tanto del estátor como del rotor de la máquina.

### Sistemas de referencia y transformaciones matemáticas

Para el modelado del control en las máquinas eléctricas asíncrona, se utilizan unos sistemas de referencia y transformaciones matemáticas que ayudan a simplificarlo, puesto que el modelado del control con las variables de fase es muy complejo. Entre las alternativas existentes, se destaca la técnica de la descomposición en espacios vectoriales o VSD (Vector Space Decomposition) que se define a continuación [33].

La primera transformada matemática que se realiza es la denominada transformada de Clarke que cambia los ejes de referencia de las variables de fase nombrados como  $a, b$  y  $c$ , en dos ejes estáticos que forman un subespacio vectorial, que los nombran como  $\alpha$  y  $\beta$ . Estos ejes de referencia junto con el vector genérico  $\vec{x}$  girando a una velocidad  $\omega$  se muestran en la Figura 38.

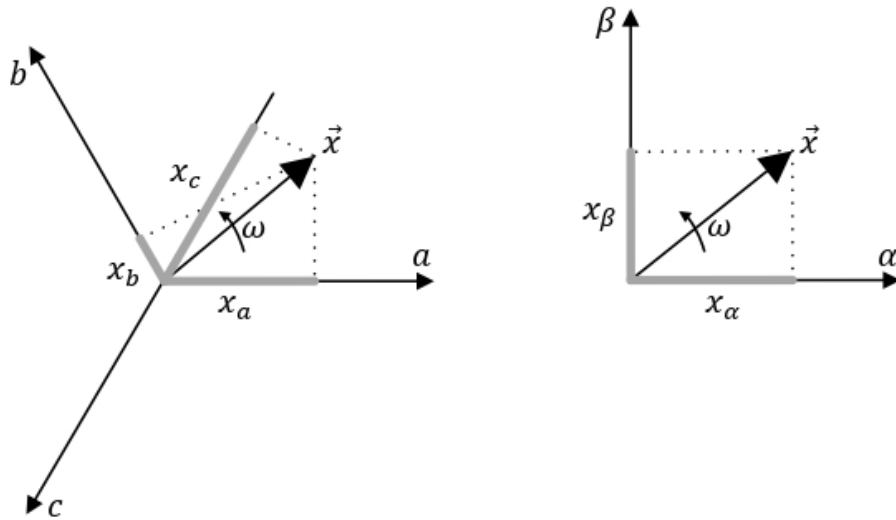


Figura 38: Variable eléctrica en el sistema de referencia estacionario  $abc$  y  $\alpha\text{-}\beta$ .

Fuente: [17]

El vector genérico  $\vec{x}$  se descompone en proyecciones  $x_a$ ,  $x_b$  y  $x_c$  en los ejes de referencia antes de la transformada y en proyecciones  $x_\alpha$  y  $x_\beta$  en los ejes de referencia después de la transformada de Clarke. Esta transformada se realiza empleando la matriz de Clarke cuya expresión de las proyecciones que se obtienen se expresan como:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} \cos(0) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) \\ \text{sen}(0) & \text{sen}\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \text{sen}\left(\frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

En el caso de las sistemas multifásicos aparecen otros grados de libertad que los nombrados  $x\text{-}y$  formando otro subespacio vectorial, obteniéndose así las proyecciones  $x_\alpha$ ,  $x_\beta$ ,  $x_x$  y  $x_y$ . El subespacio principal, el de los ejes  $\alpha\text{-}\beta$ , tiene relación con el par y el flujo producido, y el subespacio secundario, el de los ejes  $x\text{-}y$ , con las pérdidas en el cobre en el estátor de la máquina.

Se muestran en la Figura 39, los subespacios vectoriales para un accionamiento eléctrico hexafásico en el que cuenta con dos convertidores de dos niveles trifásicos VSC-2L, que tendría  $2^6 = 64$  estados de conmutación. Las proyecciones que se obtendrían para el caso de las máquinas asíncronas hexafásicas:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_x \\ x_y \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} \cos(0) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) & \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) & \cos\left(\frac{9\pi}{6}\right) \\ \text{sen}(0) & \text{sen}\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \text{sen}\left(\frac{4\pi}{3}\right) & \text{sen}\left(\frac{\pi}{6}\right) & \text{sen}\left(\frac{5\pi}{6}\right) & \text{sen}\left(\frac{9\pi}{6}\right) \\ \cos(0) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) & \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) & \cos\left(\frac{9\pi}{6}\right) \\ \text{sen}(0) & \text{sen}\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \text{sen}\left(\frac{4\pi}{3}\right) & \text{sen}\left(\frac{\pi}{6}\right) & \text{sen}\left(\frac{5\pi}{6}\right) & \text{sen}\left(\frac{9\pi}{6}\right) \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \\ x_d \\ x_e \\ x_f \end{bmatrix} \quad (4)$$

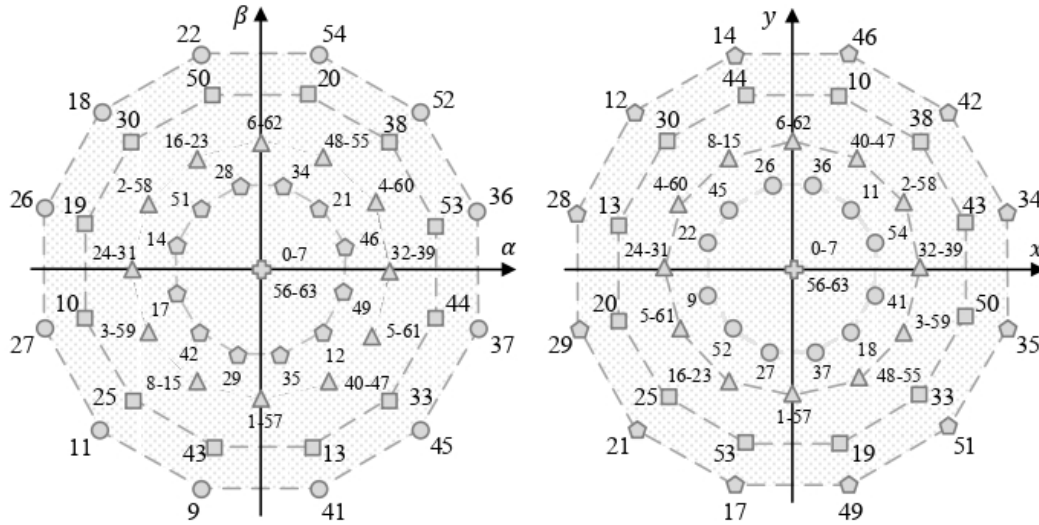


Figura 39: Representación de los estados de conmutación en los subespacios  $\alpha$ - $\beta$  (izquierda) y  $x$ - $y$  (derecha) para el accionamiento con VSC-2L.

Fuente: [17]

La segunda transformada matemática que se realiza es la denominada transformada de Park, en la que los ejes de referencia estáticos  $\alpha$ - $\beta$ , se transforman en ejes de referencia rotativos nombrados como  $d$  y  $q$ , de forma que dichos ejes estén girando a una velocidad  $\omega$  con respecto de los ejes de referencia  $a$ ,  $b$  y  $c$ . Estos ejes de referencia se muestran en la Figura 40.

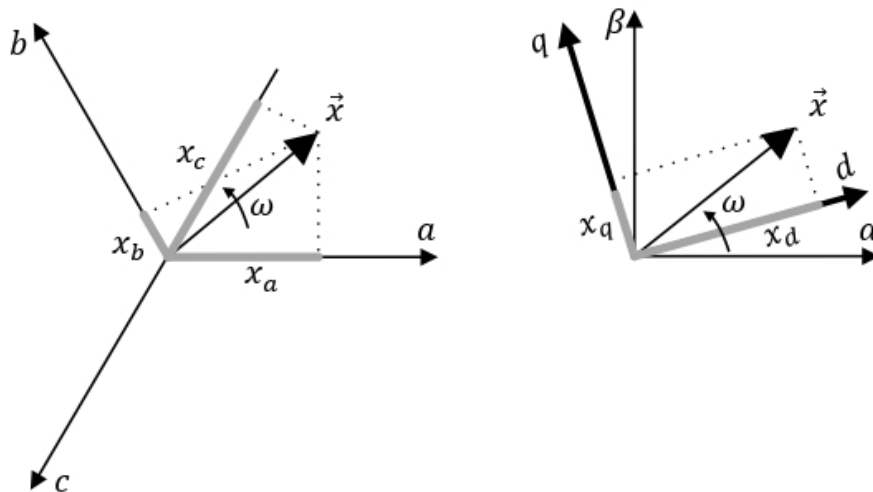


Figura 40: Variable eléctrica en el sistema de referencia  $d$ - $q$ .

Fuente: [17]

Esta transformada se realiza empleando la matriz de Park cuya expresión de las proyecciones que se obtienen se expresan como:

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \text{sen}(\theta) \\ -\text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para el caso de las máquinas asíncronas multifásicas aparecen las proyecciones transformadas de  $x_x$  y  $x_y$  que se expresan como:

$$\begin{bmatrix} x'_x \\ x'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\text{sen}(\theta) \\ \text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

Con estas transformadas matemáticas, se consigue que las variables de la máquina de corriente alterna se puedan controlar de forma similar a como se controlan las variables de la máquina en corriente continua.

### Tipos de sistemas de control

Existen distintas técnicas de control para accionamientos eléctricos de velocidad variable. Normalmente tienen como objetivo controlar la velocidad de rotación de la máquina actuando sobre los interruptores del convertidor. A continuación, se describen los esquemas de control de altas prestaciones más extendidos en el ámbito industrial, de movilidad eléctrica y de generación:

- Control de campo orientado o FOC (Field Oriented Control)

El control de campo orientado o FOC (Field Oriented Control por sus siglas en inglés) se basa en alinear el vector flujo magnético con un eje del marco de referencia rotativo  $d$ - $q$ . De todas las opciones, la más aplicada y más común es alinear el flujo del rotor con la componente  $d$  del sistema de referencia y trabajar con flujo constante, que se conoce como RFOC (Rotor Field Oriented Control). De esta forma, el control del par y del flujo magnético quedan desacopladas de forma que el eje  $d$  se corresponde con el flujo magnético y el eje  $q$  con el par.

El control RFOC se puede clasificar en control directo orientado con el flujo del rotor DRFOC o control indirecto orientado con el flujo IRFOC, siendo la segunda, la más empleada y más sencilla que la primera. El esquema de control IRFOC se muestra en la Figura 41.

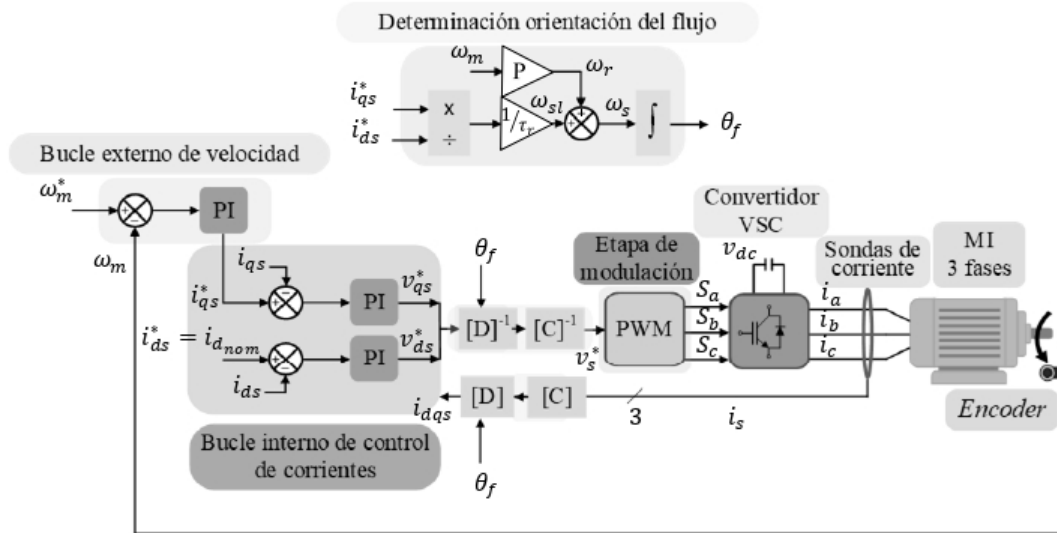


Figura 41: Esquema de control IRFOC para accionamiento eléctrico trifásico.

Fuente: [17]

Este esquema de control emplea los controladores proporcionales integrales o controladores PI. El controlador PI para la velocidad mecánica, obtiene el valor de la corriente  $q$  de referencia ( $i_{qs}^*$ ) con el error resultante de la diferencia entre la velocidad del rotor medida  $\omega_m$  con la velocidad de referencia  $\omega_m^*$ . La corriente  $d$  de referencia  $i_{ds}^*$  es un valor nominal establecido, de forma que el flujo del rotor sea fijo. El controlador PI para las corrientes  $d$  y otro para las corrientes  $q$  obtienen las tensiones de referencia  $v_{qs}^*$  y  $v_{ds}^*$ , proporcionando en cada controlador el error resultante de la diferencia entre el valor de la corriente de referencia  $i_{qs}^*$  y  $i_{ds}^*$  con el valor de la corriente medida  $i_{qs}$  y  $i_{ds}$  respectivamente. Por otro lado, se obtiene el ángulo del vector flujo del rotor  $\theta_f$  para su orientación y se obtiene mediante la integración de la velocidad del estator  $\omega_s$ . A las tensiones de referencia se les aplican las transformadas inversas de Park y de Clarke para obtener las tensiones de referencia en fase  $v_a^*$ ,  $v_b^*$  y  $v_c^*$  para pasar a la etapa de modulación PWM. Posteriormente esta etapa suministra los órdenes de disparo adecuadas al convertidor VSC (Voltage Source Converter) para alcanzar los objetivos de control.

- Control directo de par o DTC (Direct Torque Control):

Se basa también en el control del par electromagnético y el flujo magnético pero con comparadores de banda de histéresis en vez de controladores PI. Dicho esquema de control para un accionamiento eléctrico trifásico se muestra en la Figura 42. Al igual que la estrategia IRFOC, emplea el controlador PI para obtener el par de referencia  $T_e^*$  a través del error entre la velocidad medida del rotor  $\omega_m$  con la velocidad de referencia  $\omega_m^*$ . El error resultante de la diferencia entre el valor de referencia y el valor estimado tanto para el flujo del estator ( $\hat{\lambda}_s$  y  $\lambda_s^*$ ) como para el par electromagnético ( $\hat{T}_e$  y  $T_e^*$ ) pasan por cada comparador de banda de histéresis generando señales  $d\lambda_s$  y  $dT_e$ , que indican la evolución de las variables de control flujo y par respectivamente para alcanzar sus referencias correspondientes. Dichas señales junto con el ángulo  $\hat{\theta}_f$  permiten obtener el estado de conmutación adecuado de entre todas

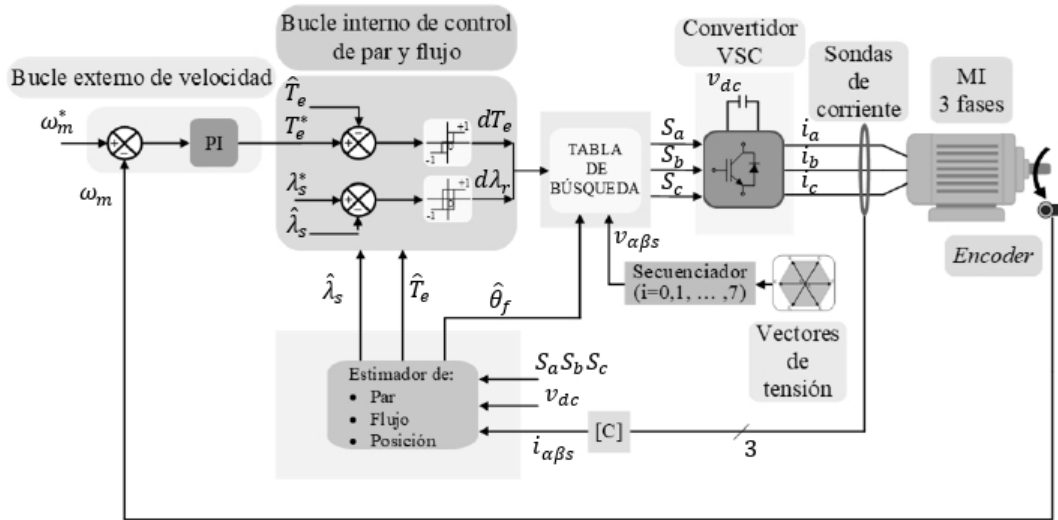


Figura 42: Esquema de control DTC en accionamiento eléctrico trifásico.

Fuente: [17]

las acciones de control disponibles en la tabla de búsqueda y suministrarlas al VSC.

Con el estado de conmutación aplicada, se obtendrá las corrientes de fase  $i_a$ ,  $i_b$  y  $i_c$  para alimentar la máquina eléctrica.

- Control predictivo basado en modelo o MPC (Model Predictive Control):

Consiste en emplear un modelo matemático del sistema para predecir las variables futuras que necesitaría la máquina para conseguir el objetivo de control. Un ejemplo de este esquema de control para un accionamiento trifásico, se muestra en la Figura 43.

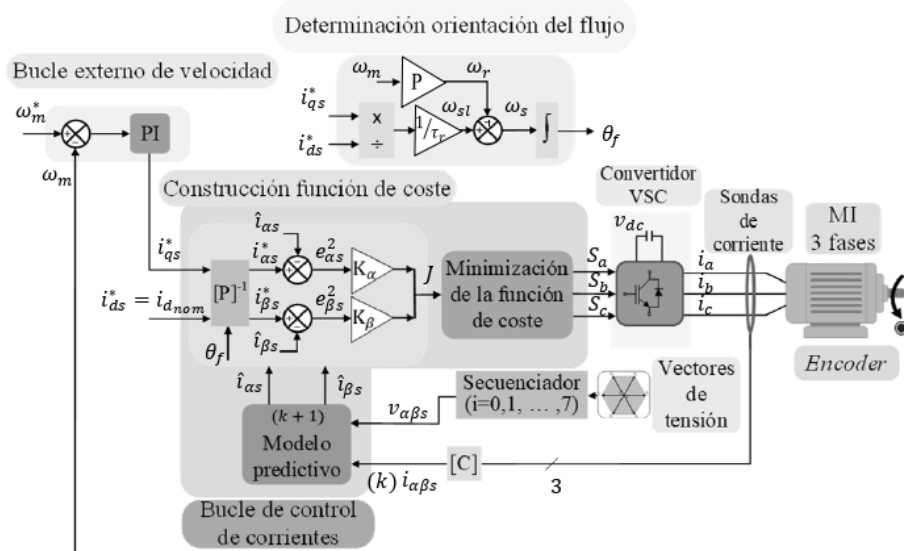


Figura 43: Esquema de control MPC en accionamiento eléctrico trifásico.

Fuente: [17]

Para el proceso de predicción utilizan tres tipos de variables, que son: variable de referencia, variable medida y variable predicha. Las variables que se utilizan en el caso del ejemplo, son las corrientes del subespacio vectorial  $\alpha$  y  $\beta$ . Las corrientes predichas  $\hat{i}_{\alpha s}$  y  $\hat{i}_{\beta s}$ , son estimaciones de corrientes en el instante futuro ( $k + 1$ ) obtenidas a partir de las corrientes del instante anterior ( $k$ )  $i_{\alpha}$  y  $i_{\beta}$  y del estado de tensión aplicado según la evaluación del función de coste, cuya expresión es

$$J_i = K_1 \cdot e_1^i + K_2 \cdot e_2^i + \dots + K_j \cdot e_j^i \quad (7)$$

donde:

- $e_j^i$  es el error entre el valor de referencia y el valor predicha.
- El subíndice  $i$  indica el número de estados de tensión disponibles del convertidor.
- El subíndice  $j$  el número de objetivos de control.

La corriente  $q$  de referencia  $i_{qs}^*$ , al igual que en el esquema de control IRFOC, se obtiene empleando el controlador PI en el cual se obtiene del error entre la velocidad del rotor medida utilizando “enconder”  $\omega_s$  y la de referencia  $\omega_s^*$ . El valor de la corriente  $d$  de referencia ( $i_{ds}^*$ ) se establece de forma que el flujo del estátor sea constante. Las corrientes  $i_{qs}^*$  y  $i_{ds}^*$  son transformadas a  $i_{\alpha s}^*$  y  $i_{\beta s}^*$  y el ángulo  $\theta_f$  es determinado utilizando las corrientes  $i_{qs}^*$  y  $i_{ds}^*$ , que al igual que el esquema IRFOC indica la orientación del flujo. Con cada una de las corrientes transformadas junto con las corrientes predichas se obtienen el error de cada uno para generar la función de coste. Dicha función de coste es el mínimo de entre todos los estados de tensión y señala el estado de tensión que se debe aplicar. El estado de tensión se pasa al convertidor VSC que provee las corrientes de fase  $i_a$ ,  $i_b$  y  $i_c$  para la máquina. Estas corrientes de fase son empleadas para obtener el siguiente estado de tensión a aplicar en el nuevo proceso de predicción.

En los accionamientos eléctricos multifásicos, como se ha comentado anteriormente, aparece un subespacio secundario  $x$ - $y$ . Los esquemas MPC estándar aplican un único vector de tensión de entre todos los estados de tensión disponibles (Figura 44), durante todo el periodo de muestreo. La aplicación de este único vector de tensión en el plano  $\alpha$ - $\beta$  genera de manera inherente la aplicación de una tensión en el subespacio  $x$ - $y$ . Este subespacio  $x$ - $y$  está, como se ha mencionado anteriormente, exclusivamente relacionado con las pérdidas en el cobre en máquinas con devanados distribuidos, como es el caso. Además, la inyección de corrientes en el subespacio secundario acaba deteriorando la calidad de las corrientes puestas en juego en el accionamiento eléctrico y reduciendo su eficiencia.

Para reducir esta generación de tensiones en el subespacio  $x$ - $y$  se ha trabajado desde distintos enfoques. En las estrategias MPC que regulan accionamientos multifásicos con control directo una de las vías de trabajo son las técnicas multivectoriales. Estas aplican más de un vector de tensión durante el periodo de muestreo. Ejemplo de ello es *VV-MPC* (Virtual-Voltage Vectors Model Predictive Control) que aplica dos vectores de tensión, uno largo y otro mediano-largo que consigue reducir la generación de tensiones en el plano  $x$ - $y$  a la vez que conseguir el punto de operación requerido [34].

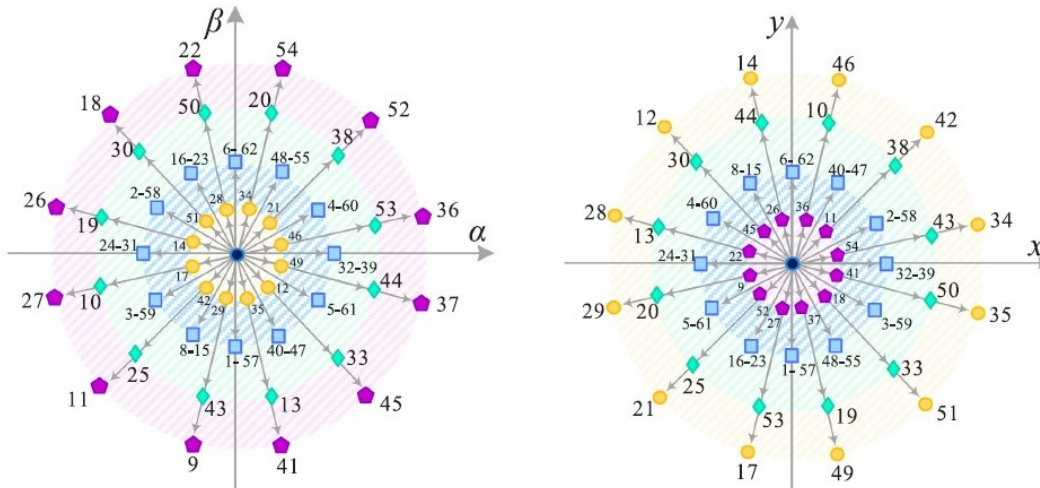


Figura 44: Vectores de tensión disponibles en un accionamiento con dos VSC-2L.

Fuente: [35]

Visto que los vectores medianos largos generan tensiones relativamente altas en el subespacio secundario se plantea otro esquema que consigue reducir la generación de pérdidas por aplicación de tensiones en el plano  $x-y$ . Este esquema es *LVV-MPC* (Large Virtual Voltage-Vectors Model Predictive Control) que aplica dos vectores largos adyacentes produciendo así una inyección reducida de corrientes relacionadas con las pérdidas en el cobre [35]. Este esquema se detallará más adelante.

### 3.3. Caracterización térmica de los accionamientos eléctricos

La variable clave para caracterizar térmicamente los accionamientos eléctricos es la temperatura. Para cada componente de los accionamientos eléctricos, los valores de la temperatura en cualquier punto dependen de distintos factores que se definen a continuación:

- Máquinas eléctricas

La temperatura de funcionamiento de las máquinas eléctricas depende principalmente de los mecanismos de transferencia de calor que tiene lugar en el interior de la máquina, por lo que está en constante evolución las diferentes metodologías para el análisis térmico de las máquinas eléctricas [36]. Existen tres mecanismos de la transferencia de calor [37]-[38]:

- Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre las partículas de un objeto. La transferencia de calor por conducción depende de la conductividad térmica y la geometría del objeto en el que tiene lugar y, de la diferencia de temperatura entre los puntos de la transferencia. El calor transferido por conducción se describe mediante la ley de Fourier cuya expresión es

$$Q_{cd} = -k \cdot A \cdot \nabla T \quad (W) \quad (8)$$

donde:

- $k$ : Conductividad térmica del objeto. ( $\frac{W}{m \cdot K}$ ).
- $A$ : Área de transferencia de calor ( $m^2$ ).
- $\nabla T$ : Gradiente de temperatura ( $\frac{^\circ C}{m}$ ).

Esta ley establece que el calor transferido por conducción es directamente proporcional al gradiente de temperatura. El signo negativo de esta ecuación es para asegurar que la cantidad de calor transferido en una dirección particular sea positiva, es decir, que el calor se transfiere desde el punto de temperatura más alta al punto de temperatura más baja.

- Convección

Es la transferencia de calor que tiene lugar entre una superficie sólida y un fluido (gas o líquido) en movimiento. La transferencia de calor por convección depende de las propiedades del fluido (viscosidad dinámica  $\mu$ , la conductividad térmica  $k$ , la densidad  $\rho$ , el calor específico  $Cp$ ), de la configuración geométrica de la superficie sólida, de la naturaleza del movimiento del fluido y de la velocidad del fluido. El calor transferido por convección se puede definir con la ley de enfriamiento de Newton, cuya expresión es

$$Q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T \text{ (W)} \quad (9)$$

donde:

- $h$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ).
- $A$ : Área de transferencia de calor ( $m^2$ ).
- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la superficie sólida y el fluido ( $\frac{^\circ C}{m}$ ).

Esta ley establece que la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie sólida y el fluido.

En la transferencia de calor por convección, se emplean los números adimensionales que caracterizan el comportamiento de los flujos del fluido. Los más relevantes son:

- Reynolds (Re):

Número adimensional que indica si el flujo es laminar o turbulento. Se expresa como

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V \cdot L_c}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot L_c}{\mu} \quad (10)$$

donde:

- ◊  $V$ : Velocidad del fluido ( $m/s$ ).
- ◊  $L_c$ : Longitud característica de la configuración geométrica. ( $m$ ).
- ◊  $\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido, cuya expresión es  $\nu = \mu/\rho$  ( $m^2/s$ ).

- Prandtl (Pr):

Número adimensional que indica la propiedad física del fluido. Se expresa como:

$$Pr = \frac{\text{Difusión de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusión de calor}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad (11)$$

donde:

- ◇  $\alpha$ : Difusividad térmica, que indica la rapidez a la que se difunde el calor por un material y es igual a  $\frac{k}{\rho \cdot C_p}$  ( $m^2/s$ ).
- ◇  $k$ : Conductividad térmica del fluido ( $\frac{W}{m \cdot K}$ )
- Nusselt (Nu): Número adimensional que mide el calor transferido por convección con respecto del calor transferido por conducción en una capa del fluido. Se expresa como

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{k} \quad (12)$$

- Grashoff (Gr): Número adimensional que indica lo mismo que el Re pero en convección natural. Se expresa como

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_c^3}{\nu^2} \quad (13)$$

donde:

- ◇  $g$ : Aceleración gravitacional ( $m/s^2$ ).
- ◇  $\beta$ : Coeficiente de dilatación volumétrica siendo igual a  $1/T$  para los gases ideales ( $1/K$ ).

Según el origen del movimiento del fluido, se puede clasificar la transferencia de calor por convección en dos tipos:

- Convección forzada

En este tipo de convección, el movimiento del fluido hacia la superficie es forzado por medios externos como un ventilador, una bomba o el viento soplado.

- Convección natural

En este tipo de convección, el movimiento del fluido es debido a las diferencias de densidad en el fluido provocadas por variaciones en la temperatura.

También se puede clasificar según el régimen de flujo del fluido:

- Régimen laminar

Se caracteriza por el movimiento ordenado de las partículas del fluido. Este régimen se da con bajos valores de velocidad, tamaños pequeños en la geometría de las interfaces y alta viscosidad del fluido.

- Régimen turbulento

En este régimen, el movimiento de las partículas fluidas es altamente desordenado y se da para alta velocidad y baja viscosidad. Aparecen flujos fluctuantes y movimientos transversales que se superponen a las corrientes fluidas principales. Esto provoca movimientos de agitación y mezcla entre aglomerados fluidos y por tanto la transferencia de calor se intensifica por el transporte macroscópico de dichos aglomerados.

- Radiación

Es la energía emitida por una superficie en forma de ondas electromagnéticas que no requiere la presencia de un medio material para propagarse, ya que todos los cuerpos con

temperatura por encima del cero absoluto, emiten radiación térmica. El calor emitido por radiación se puede definir mediante la ley de Stefan-Boltzman, cuya expresión es

$$Q_{rd,emitida} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \text{ (W)} \quad (14)$$

donde:

- $\varepsilon$ : Emisividad de la superficie.
- $\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzman, cuyo valor es  $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ .
- $A$ : Área de la superficie ( $m^2$ ).
- $T_s$ : Temperatura de la superficie ( $K$ ).

También se cuantifica el calor de radiación absorbido por la superficie, que se expresa como

$$Q_{rd,absorbida} = \alpha \cdot Q_{incidente} \text{ (W)} \quad (15)$$

donde:

- $Q_{incidente}$ : Calor de radiación incidente en la superficie procedente de otro medio (W).
- $\alpha$ : Absortividad de la superficie.

Para una transferencia de calor eficiente que conduce a que las máquinas eléctricas funcionen a una temperatura deseable y por tanto, mantengan un rendimiento óptimo, es fundamental considerar cómo los aspectos constructivos desempeñan un papel muy importante en este proceso:

- Sistema de enfriamiento

Sirve para mantener la temperatura de funcionamiento de la máquina eléctrica dentro del rango óptimo para el funcionamiento eficiente a través del enfriamiento por el fluido. Generalmente se utilizan los siguientes fluidos:

- Enfriamiento por aire

Puede ser de convección forzada, que utiliza un ventilador para introducir aire frío en la máquina para que se disipe calor en las superficies de contacto presentes dentro de la máquina o de convección natural, que no dispone de ventilador sino que aprovecha la propiedad del aire caliente generado en la máquina que dirige naturalmente hacia las superficies de contacto. El enfriamiento de aire por convección forzada es más efectivo, ya que se enfría el aire caliente generado en la máquina mezclándose con el aire introducido por el ventilador y además, obliga a que el aire se disipe en las superficies de contacto. Para mejorar el enfriamiento de la máquina, también es importante el posicionamiento del ventilador dentro de la máquina. En esta línea de investigación la literatura recoge trabajos, como [39], que ha llevado simulaciones basadas en dinámica de fluidos computacionales (CFD) para localizar el posicionamiento óptimo del ventilador en la máquina eléctrica para reducir los picos de temperatura en el estátor.

- o Enfriamiento por agua

Es de convección forzada, haciendo que el aire caliente generado en la máquina contacte con tubo por el que pasa agua fría para que se enfríe.

En [40] se estudia la transferencia de calor por convección en el interior de máquinas eléctricas en el que presentan diferentes tipos de enfriamiento, concluyendo la relevancia de las correlaciones de los números adimensionales.

- Diseño de la superficie de la máquina

Para mejorar la transferencia de calor, se presentan dos opciones: aumentar el coeficiente de transferencia por convección y aumentar el área de la superficie. La primera opción requiere un ventilador o una bomba más potente, que comparado con la segunda opción, es poco práctico y más costoso. El aumento de la superficie implica aumentar el calor transferido como se puede observar en las ecuaciones (8), (9) y (14). Por ello, la superficie exterior de las máquinas que utilizan aire para el enfriamiento, suelen estar aleteadas para el enfriamiento eficiente del aire caliente generado por la máquina cuando está en funcionamiento, para que el aire caliente pase por esas superficies aleteadas. Como se puede ver en la Figura 45, existen diferentes formas de la superficie aleteada.

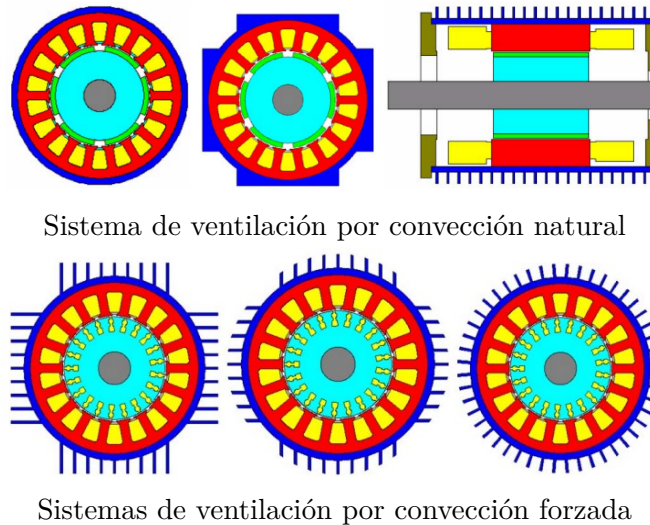


Figura 45: Formas de la superficie aleteadas apropiadas en la máquina eléctrica.

Fuente: [40]

- Convertidores de potencia y fuente de alimentación de corriente continua

La temperatura de funcionamiento de los convertidores de potencia y de la fuente de alimentación de corriente continua dependen principalmente de la cantidad de corriente que fluye por estos componentes. En los convertidores, la temperatura de funcionamiento también depende de la frecuencia de conmutación de los semiconductores que generan pérdidas por conmutación pero es inferior comparado con las pérdidas que se producen con la circulación de la corriente.

Cuando la corriente fluye a través del conductor, la energía eléctrica se transforma en energía térmica debido a que se producen choques entre las cargas eléctricas y el material del conductor. Este fenómeno se conoce como *Efecto Joule*. La cantidad de calor generada por este fenómeno se cuantifica mediante la *Ley de Joule* [41], cuya expresión es

$$Q = I^2 \cdot R \text{ (W)} \quad (16)$$

donde:

- $I$ : Cantidad de corriente (A).
- $R$ : Valor de la resistencia ( $\Omega$ ).

La temperatura de funcionamiento de estos componentes será mayor cuanto mayor sea el calor generado por *Efecto Joule*.

En [42] se presenta una forma rápida de obtener rápidamente el perfil térmico y las pérdidas térmicas de los semiconductores utilizados en los convertidores de potencia, basada en el método de análisis de Fourier. Consiste en obtener la función periódica del perfil de temperatura en dominio de frecuencias a través de las funciones periódicas obtenidas con el circuito equivalente térmico y valores de las pérdidas en los semiconductores.

#### ■ Resistencias añadidas al estátor de la máquina

La temperatura de las resistencias añadidas al estátor depende de la cantidad de corriente que circula en ellas al igual que los convertidores y la fuente de alimentación, pero también del diseño del estátor como puede ser el tipo de aislante térmico y los conductores eléctricos utilizados. Estas resistencias se añaden para variar los parámetros del estátor de la máquina por lo que influirían en la temperatura de funcionamiento de la máquina dependiendo de sus valores.

## 4. Desarrollo de la herramienta software

El desarrollo de la herramienta software se ha llevado a cabo utilizando MATLAB (MATrix LABoratory). Debido a que las imágenes térmicas contienen datos de temperatura y se pueden guardar en forma de matrices, MATLAB es un programa apropiado para trabajar con dichas matrices. Además, MATLAB dispone de una herramienta apropiada para diseñar y crear aplicaciones, llamada App Designer [43], que permite crear interfaces gráficas de usuario interactivas (GUI) de manera visual y sencilla.

Esta herramienta App Designer permite la creación del software mediante dos ventanas de edición diferentes:

- Design View: En esta ventana se diseña visualmente la aplicación simplemente arrastrando los componentes disponibles en la librería que está en la parte izquierda. En la parte derecha se disponen de las opciones para editar la visualización de cada componente añadida como se muestra en la Figura 47.

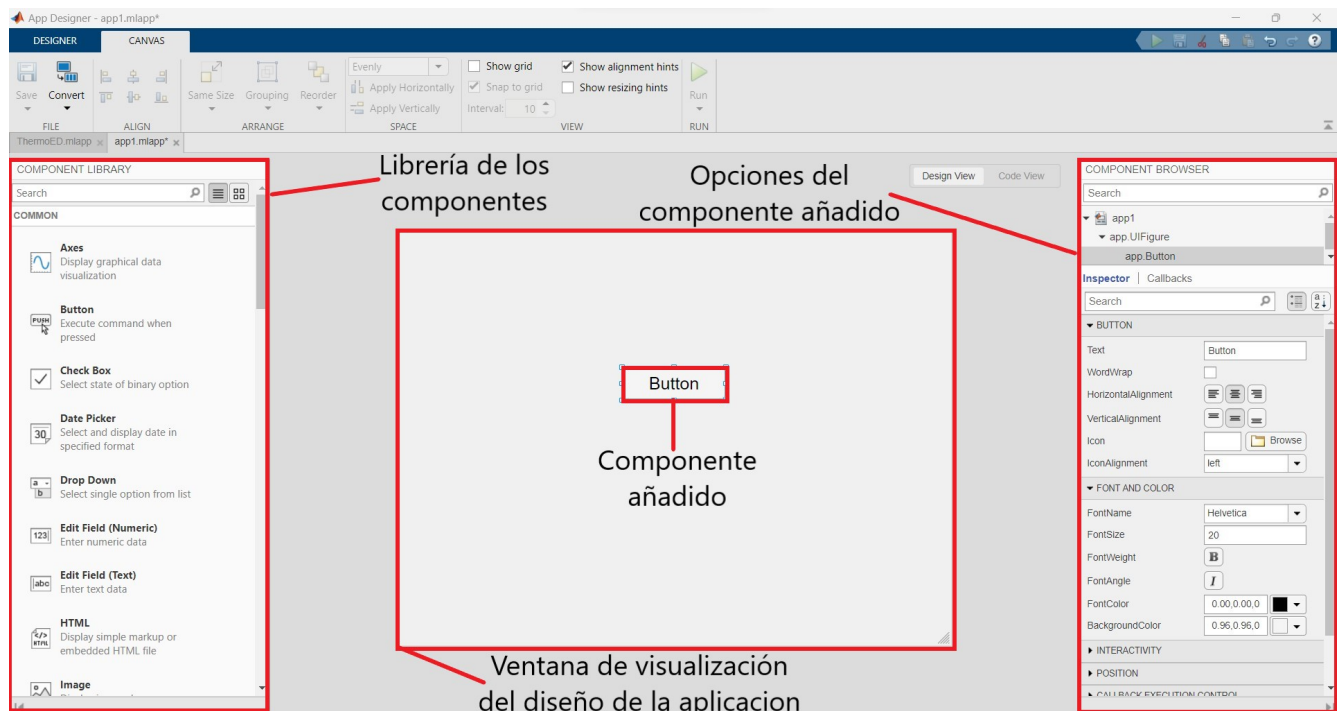
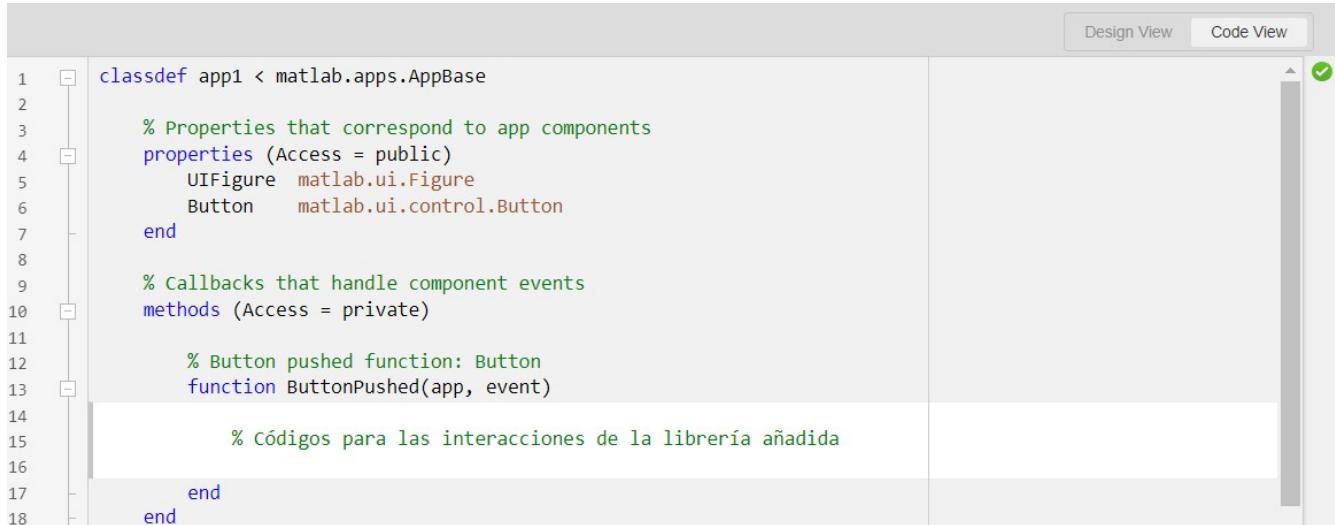


Figura 47: Ventana de Design View.

- Code View: En esta ventana se muestran todos los códigos para la ejecución del software. Como se puede observar en la Figura 48, los fragmentos de códigos con el fondo gris son añadidos automáticamente cuando se va poniendo los componentes de la librería con las opciones editadas en Design View, que no se pueden modificar y los fragmentos de códigos con el fondo blanco, se pueden modificar y añadir líneas de programación necesarias para que los componentes de la librería realicen las interacciones deseadas.



```

1  clasdef app1 < matlab.apps.AppBase
2
3  % Properties that correspond to app components
4  properties (Access = public)
5      UIFigure  matlab.ui.Figure
6      Button    matlab.ui.control.Button
7  end
8
9  % Callbacks that handle component events
10 methods (Access = private)
11
12     % Button pushed function: Button
13     function ButtonPushed(app, event)
14
15         % Códigos para las interacciones de la librería añadida
16
17     end
18 end
  
```

Figura 48: Ventana de Code View.

A continuación se procederá a describir la herramienta software desarrollada y después, explicar su proceso de creación mediante App Designer.

#### 4.1. Descripción del software desarrollado

La herramienta software que se ha desarrollado se nombra como **Thermo ED**, Thermo del prefijo termo y ED de Electric Drive (accionamiento eléctrico en inglés). Es un software destinado a facilitar la caracterización térmica de los accionamientos eléctricos mediante la visualización de la imagen termográfica con la posibilidad de seleccionar cualquier punto/s o zona/s de los que se desee conocer las diferentes temperaturas: temperatura media, temperatura mínima y temperatura máxima. Thermo ED dispone de tres versiones diferentes según el idioma que desea ejecutarlo: versión español, inglés y coreano. Gracias a la versatilidad de App Designer, el aspecto visual de Thermo ED genera un entorno amigable para el usuario.

#### 4.2. Proceso de desarrollo del software

El proceso que se ha seguido para desarrollar el software se muestra en el flowchart de la Figura 49, en el que se divide en una serie de pasos que se detallan a continuación:

1. Analizar los formatos de la imagen termográfica.

La cámara termográfica Ti9, cuya ficha técnica se puede consultar en el Anexo A, dispone de dos formatos para guardar las fotografías termográficas: formato is2, que tiene los datos guardados en valores de temperatura y BitMap (\*.bmp), que tiene los datos guardados en el modelo de color RGB.

Los datos de la imagen termográfica en formato \*.bmp pueden ser leídos directamente por la aplicación, por lo cual puede mostrar la imagen a través de ciertos comandos. En cambio, los datos de la imagen en formato is2 necesitan ser modificados previamente para que MATLAB

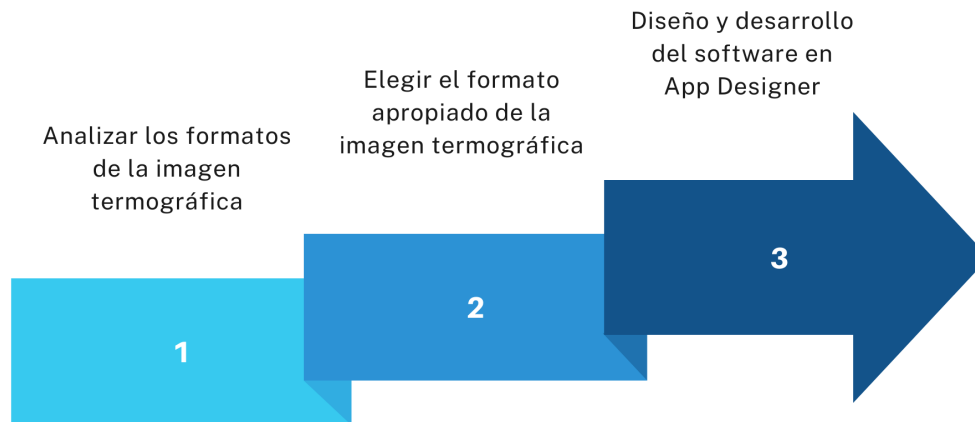


Figura 49: Proceso del desarrollo de la herramienta software.

pueda trabajar con la imagen. El proceso de modificación de los datos de la imagen en formato is2 sería como se describe a continuación:

- Exportar los datos de temperatura en un fichero \*.txt

Las imágenes termográficas en formato is2 se pueden visualizar en el software que acompaña a la cámara termográfica Ti9, llamado Smart View Classic. A través de él, se pueden exportar los datos de la imagen en un fichero \*.txt. El orden para exportar el fichero en formato \*.txt con los datos de temperatura a través de Smart View, es pulsar en este orden: Fichero → Exportar todo → Aceptar. Este proceso se muestra en la Figura 50 y en la Figura 51.

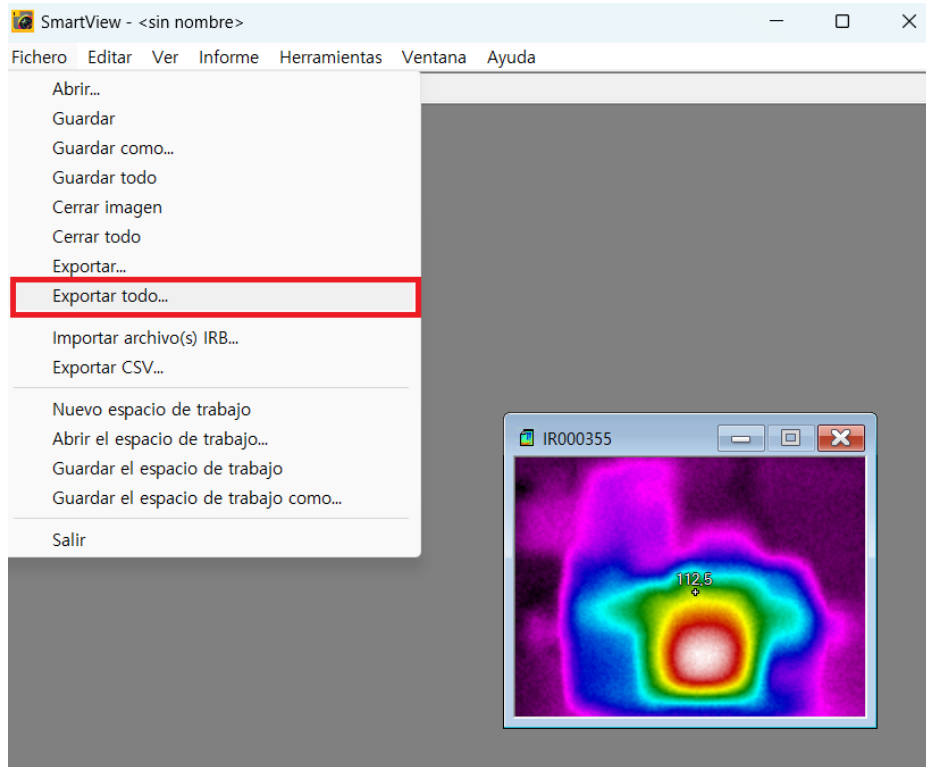


Figura 50: Paso 1 para exportar los datos en formato txt.

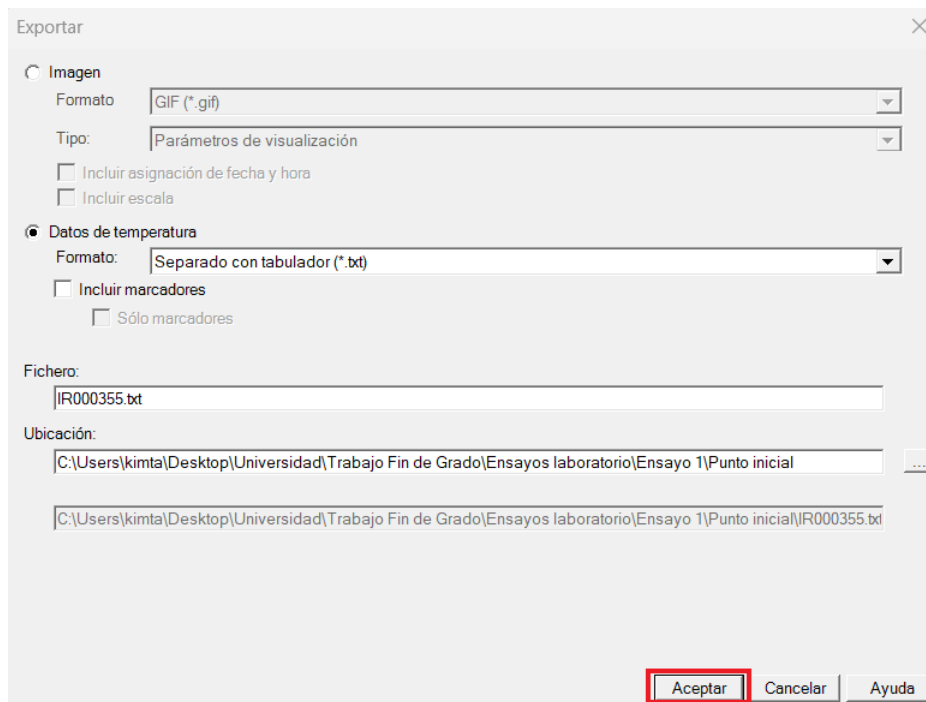


Figura 51: Paso 2 para exportar los datos a formato txt.

El fichero exportado, se tiene que guardar en la misma carpeta que la del software para poder ser utilizado.

- Modificación de los datos del fichero exportado

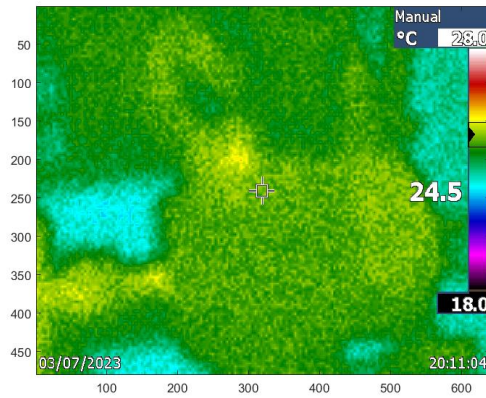
El fichero exportado en \*.txt, además de los datos de temperatura, contiene otros datos como las enumeraciones de filas y columnas, la descripción de la unidad de temperatura y la ruta del fichero guardado. Cuando este fichero es leído en el software, sus datos se guardan en una matriz de dimensión 121 filas x 161 columnas, que es el tamaño que ofrece la cámara térmica. En la primera fila y en la primera columna de la matriz, están guardados los datos que no son temperaturas, los cuales tienen que ser eliminados para que el software pueda ejecutar y de esta forma, sólo quedaría datos de temperatura en la matriz con una dimensión de 120 filas x 160 columnas. Otra etapa del preprocesado de los datos obtenidos por la cámara modificación es el cambio de las comas por puntos, puesto que el lenguaje de MATLAB considera los decimales con los puntos. Además, los datos de temperatura están guardadas en unidad de grados Fahrenheit ( $^{\circ}F$ ) por lo que hay que pasar a la unidad de grados Celsius ( $^{\circ}C$ ) utilizando la expresión

$$T(^{\circ}C) = \frac{5}{9} \cdot [T(^{\circ}F) - 32] \quad (17)$$

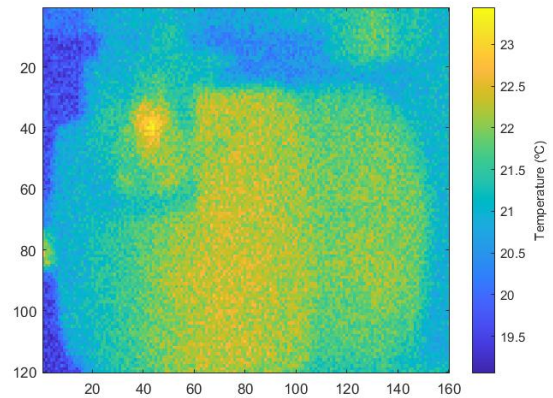
2. Elegir el formato apropiado de la imagen termográfica.

Una vez analizados los formatos de la imagen termográfica, se procede a elegir cuál es el formato apropiado para la ejecución del software.

Habiendo comprobado mostrar la información obtenida de la imagen termográfica en cada formato (Figura 52) a través de MATLAB, se ha podido observar que el formato \*.bmp presenta una mejor resolución que el formato is2, siendo la imagen obtenida idéntica a la que se puede ver en la cámara termográfica. Sin embargo, tiene la desventaja de que dentro de la imagen se incluye la barra de colores, la fecha y la hora, los cuales no se pueden excluir cuando se procede a realizar el cálculo de temperaturas. En cambio, el formato is2 tiene la ventaja de que sólo se muestra la imagen, pudiendo generar la barra de colores fuera de la imagen.



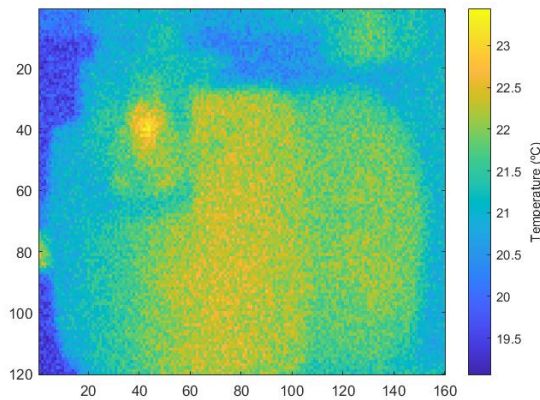
Formato bmp



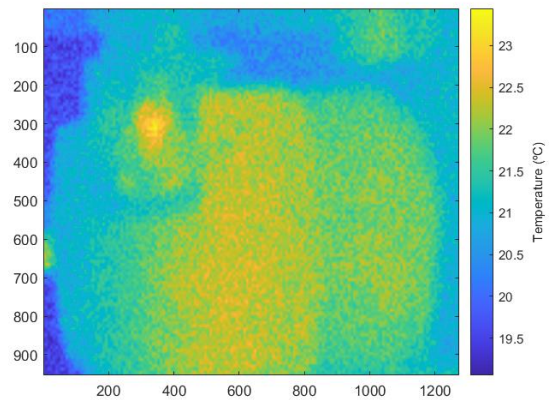
Formato is2

Figura 52: Imagen termográfica mostrada en dos formatos.

La resolución de la imagen en formato is2 se puede mejorar con el comando que aplica automáticamente el método de la interpolación lineal bidimensional que dispone MATLAB, lo cual aumenta la dimensión de la matriz. Esto implica aumentar el número de píxeles de la imagen y por tanto, mejorar la resolución de la imagen. En la Figura 53, se muestra una comparación de la imagen en formato is2 antes y después de aplicar el método de la interpolación.



Antes de aplicar la interpolación



Después de aplicar la interpolación

Figura 53: Comparación de las imágenes termográficas en formato is2.

### 3. Diseño y desarrollo del software en App Designer

El último paso es diseñar y desarrollar el software en App Designer. Para ello, se incluyen todos los códigos de programación necesarios para la ejecución del software. Los códigos están divididos por fragmentos y cada uno realiza su función correspondiente. Dichos fragmentos

de código se muestran en la Figura 54 y a continuación, se describe la función que realiza cada uno ellos:

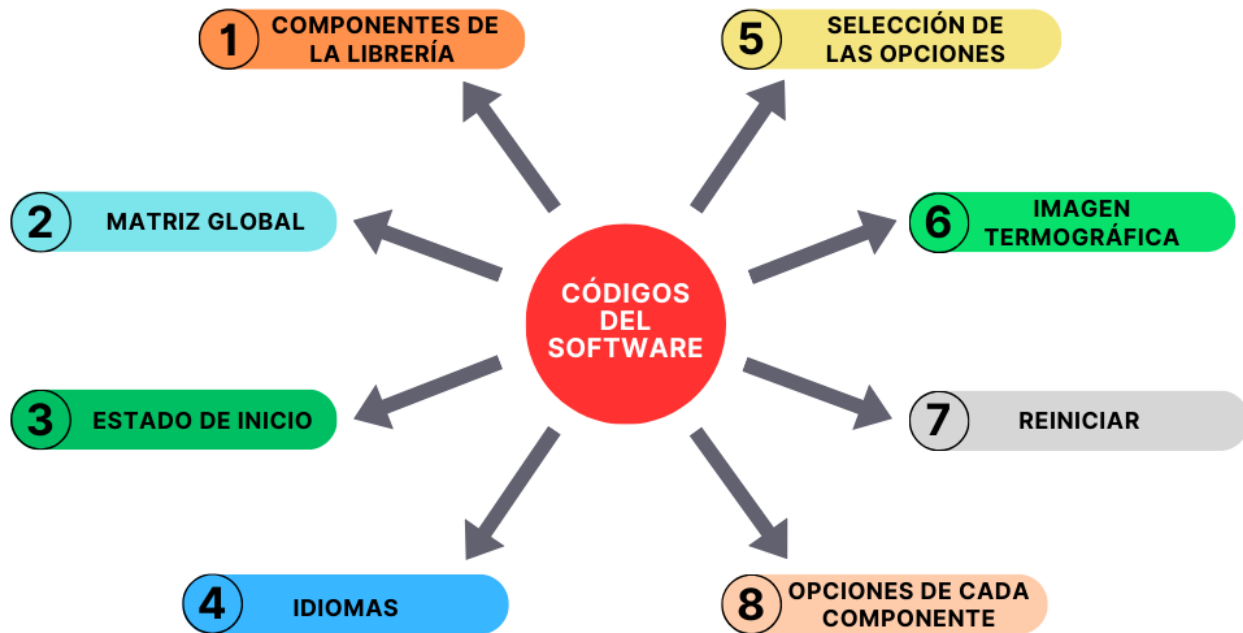


Figura 54: Fragmentos de códigos del software para su ejecución.

1) Componentes de la librería

Contiene códigos que se incluyen automáticamente cuando se van añadiendo los componentes de la librería al software. La librería dispone de distintos tipos de componentes pero se describen sólo los que se han utilizado para este software:

- Button: Botón que se puede pulsar.
- Drop Down: Menú desplegable para seleccionar alguna opción.
- Edit Field (Numeric): Espacio para introducir valores numéricos.
- Edit Field (Text): Espacio para introducir textos.
- Image: Icono o imagen.

2) Matriz global

Como se comentó en los pasos anteriores, el software mostrará la imagen a través de los datos guardados en una matriz. Por tanto, este fragmento de códigos crea una matriz global, es decir, una matriz que pueda ser utilizada y modificada por todos los componentes del software. De esta forma, el código puede almacenar datos en ésta. Posteriormente, otros fragmentos de código necesitarán almacenar datos para visualizar la imagen correctamente.

3) Estado de inicio

La función de este fragmento es hacer que todos los componentes del software se encuentren en estado de inicio cuando se enciende el software como se muestra en la Figura 55.

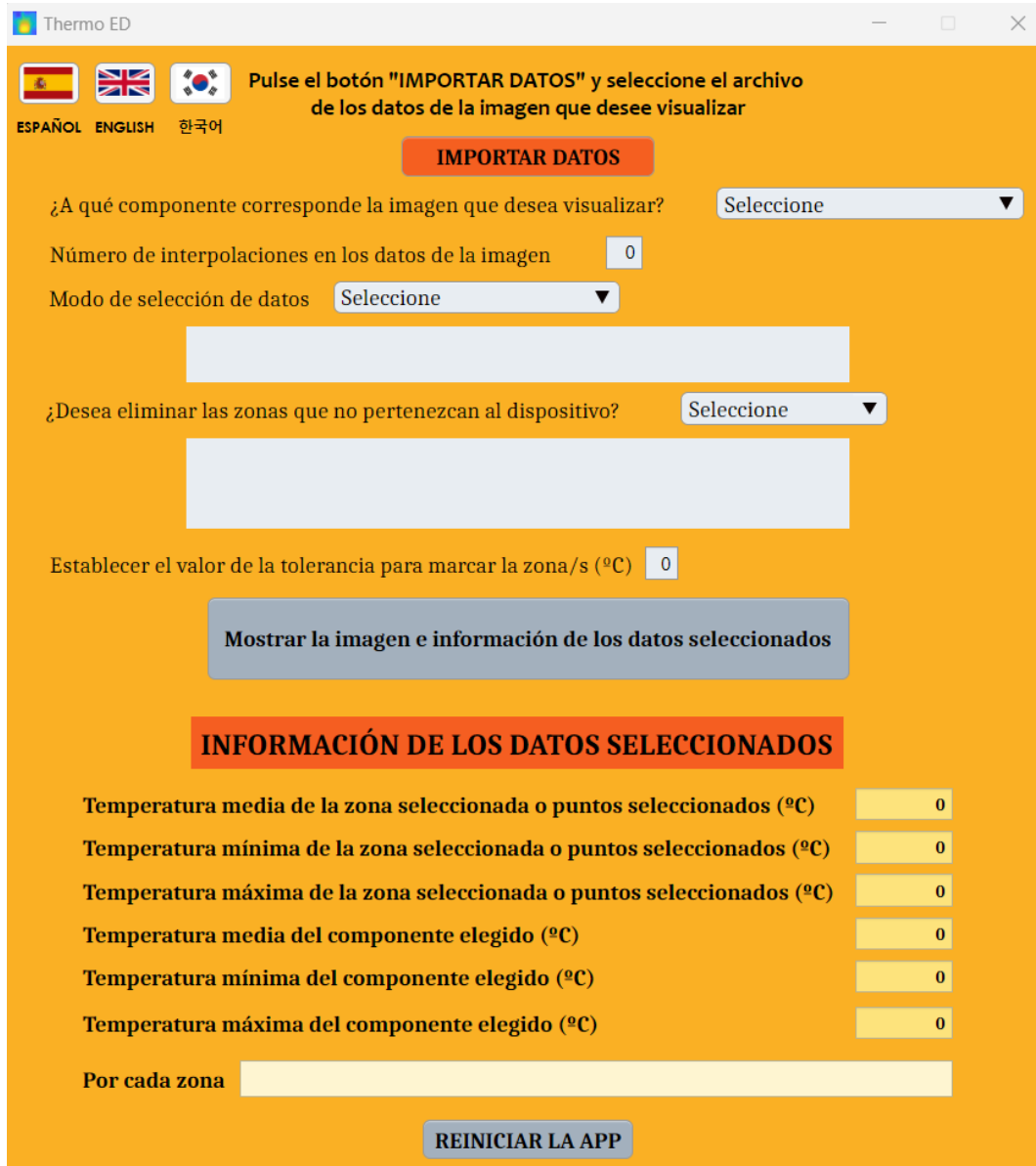


Figura 55: Estado de inicio del software.

#### 4) Selección de idioma

Este fragmento corresponde con la configuración del idioma deseado por parte del usuario para la ejecución del software. Está asociado con tres botones que incluye en cada uno la bandera del idioma hablado: español, inglés y coreano. El software en cada idioma se muestra en la Figura 55, Figura 56 y Figura 57 respectivamente.

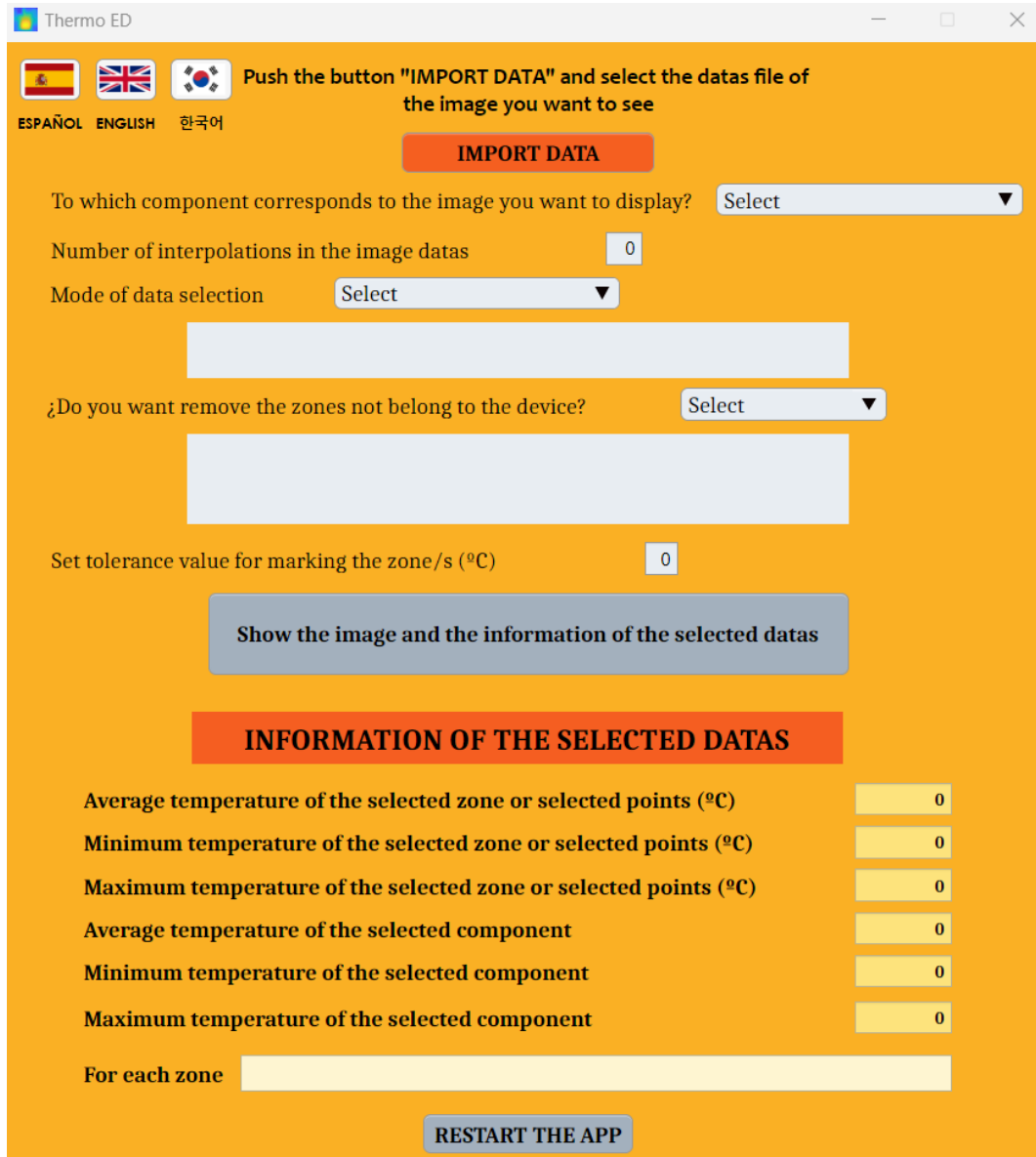


Figura 56: Thermo ED en versión inglés.



Figura 57: Thermo ED en versión coreano.

### 5) Selección de opciones

Este fragmento está relacionado con los componentes que habilitan la selección de la opción deseada y necesaria en la ejecución del software. Cada uno de estos componentes habilitan las siguientes opciones para seleccionar:

- Para importar los datos de la imagen, se pulsa el botón IMPORTAR DATOS y aparece una nueva ventana para elegir el fichero \*.txt exportado de SmartView Classic como se muestra en la Figura 58. Cuando se haya elegido el fichero \*.txt, el texto del botón IMPORTAR DATOS se convierte en IMPORTADO como se puede ver en la Figura 59.

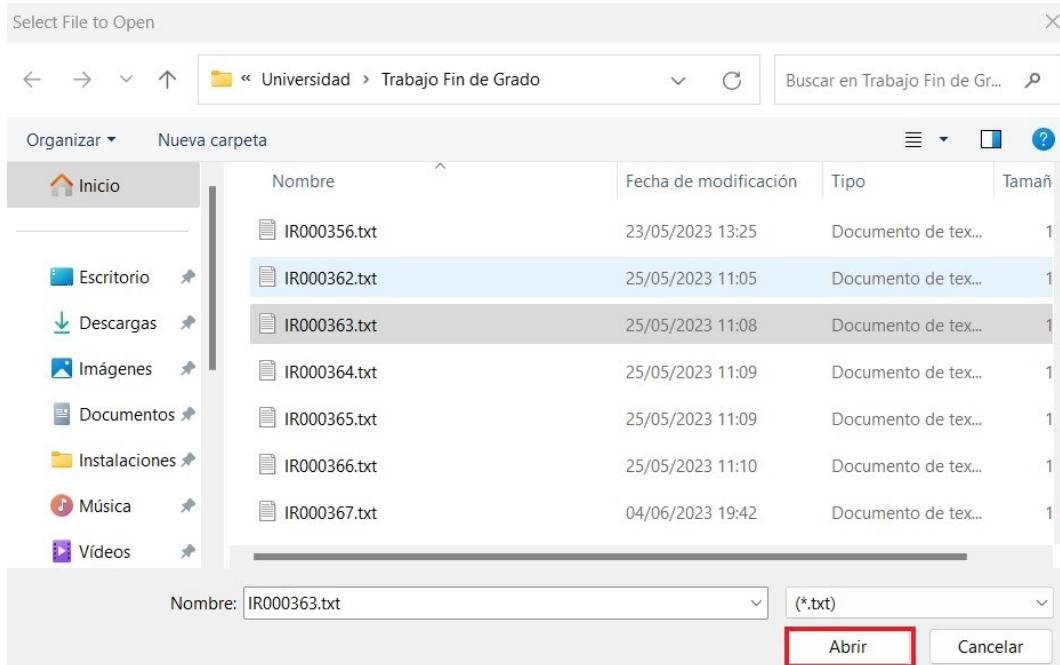


Figura 58: Ventana que aparece al IMPORTAR DATOS.



Figura 59: Botón IMPORTADO tras selección del fichero \*.txt.

- Selección de componente del accionamiento eléctrico. El usuario debe marcar el componente al que pertenecen los datos importados. Estos componentes son: máquina eléctrica, máquina de corriente continua, convertidor de potencia, fuente de corriente continua y cargas resistivas añadidas al estátor para cambiar los parámetros de la máquina. Cuando se haya elegido el componente, el botón “Mostrar imagen e información de los datos seleccionados” se actualizará según el componente seleccionado, como se muestra en la Figura 60.

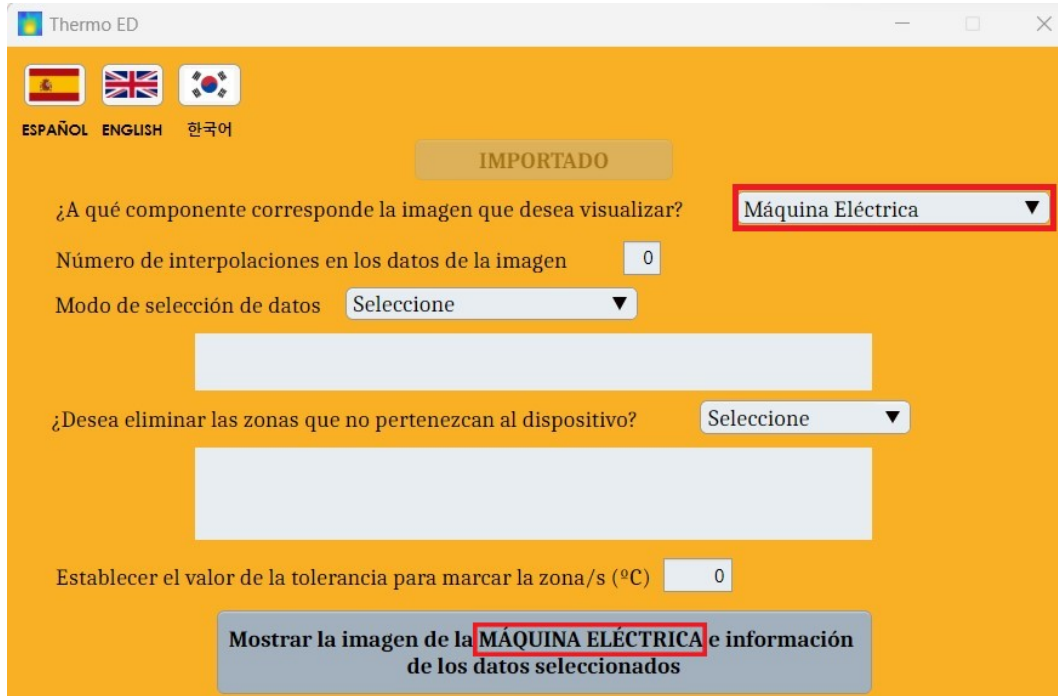


Figura 60: Actualización del texto del botón “Mostrar la imagen e información de los datos seleccionados”.

- Modo para seleccionar los datos en la imagen. Este modo cuenta con dos opciones: selección por zona cuadrada o por puntos. Se habilitan estos dos modos de selección ya que habrá imágenes que se visualicen mejor en determinado modo.
- Posibilidad de eliminación de las zonas que no pertenecen al componente del accionamiento eléctrico en la imagen mostrada. Esta selección sólo se habilita en el caso de que el modo de selección sea por puntos. Como la imagen que se toma con la cámara termográfica siempre incluye zonas exteriores que no pertenecen al componente, se habilita esta opción para eliminar dichas zonas y así excluirlas de los cálculos de temperaturas.

#### 6) Imagen termográfica

Este código permite mostrar la imagen termográfica con la matriz de datos de temperatura que se ha generado con la selección del fichero \*.txt y realiza las acciones correspondientes en ella. Dichas acciones son:

- Comprobación previa de las condiciones para mostrar la imagen.  
Se comprueban todas las condiciones necesarias para que el software pueda mostrar la imagen:
  - Fichero \*.txt seleccionado.
  - Todas las opciones seleccionadas.
  - Valor del número introducido para el método de la interpolación de datos de la matriz y que esté dentro del rango permitido que es entre 1 y 5. Hay que destacar que si el valor es superior a 5, el tamaño de los datos se hace

excesivamente grande y resultaría en un error, ya que MATLAB alcanza su límite de almacenamiento de datos. Si se introduce el valor 1, los datos de temperatura se quedarán en la dimensión fijada previamente y si se introducen valores mayores que 1, la dimensión de los datos de temperaturas aumentan, es decir, la imagen térmica que se mostrará tendrá más píxeles mejorando así su resolución.

- Valor de la tolerancia introducido en el caso de que el modo de selección de datos de la imagen sea por puntos. Este valor se utilizará para delimitar la zona del punto marcado en la imagen como se verá más adelante.

En el caso de que no cumpla alguna/s de las condiciones anteriores, el software muestra ventana/s de error en la ejecución del software con el mensaje de la instrucción que debe seguir, como se muestra en la Figura 61.

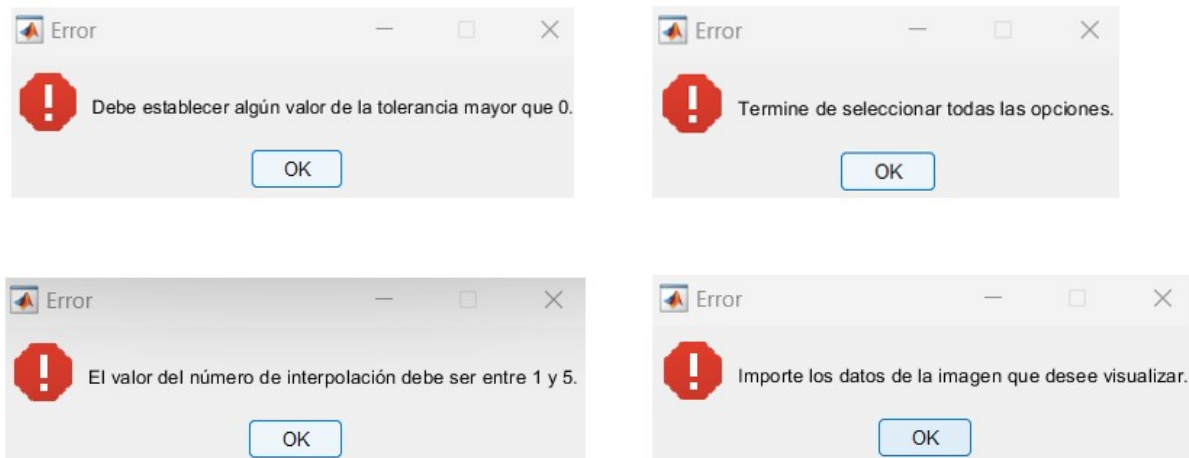


Figura 61: Ventana de error para cada condición incumplida.

- Mostrar la imagen termográfica

Una vez que se hayan comprobado todas las condiciones descritas anteriormente, el software muestra la imagen termográfica (Figura 62).

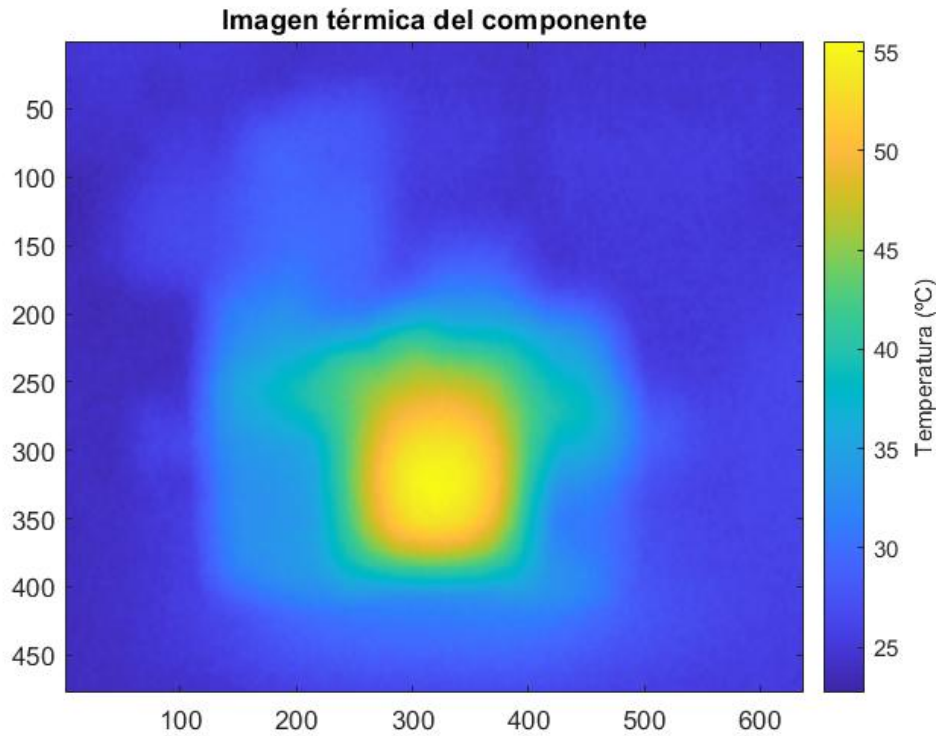


Figura 62: Imagen termográfica mostrada.

- Habilitar la selección de datos en la imagen

Como se ha descrito anteriormente, se presentan dos modos para seleccionar los datos de la imagen térmica mostrada. Dependiendo del modo de selección elegido, el software permitirá al usuario realizar ciertas acciones para la selección de datos en la imagen:

- Zona cuadrada: En el momento que se seleccione esta opción, aparecerá la instrucción que debe seguir el usuario para la selección de datos y ver la información de los datos seleccionados en el rectángulo gris que hay justo debajo como se muestra en la Figura 63. Se deshabilitarán las opciones restantes puesto que no se necesitan en este modo de selección. Primero se marca la zona donde se desea visualizar los datos, que quedará marcada en rojo (Figura 64). Después, se marca de nuevo dicha zona ajustándola y aparecerá marcada en azul (Figura 65). Por último, haciendo un doble click podrán visualizarse los datos (Figura 66).

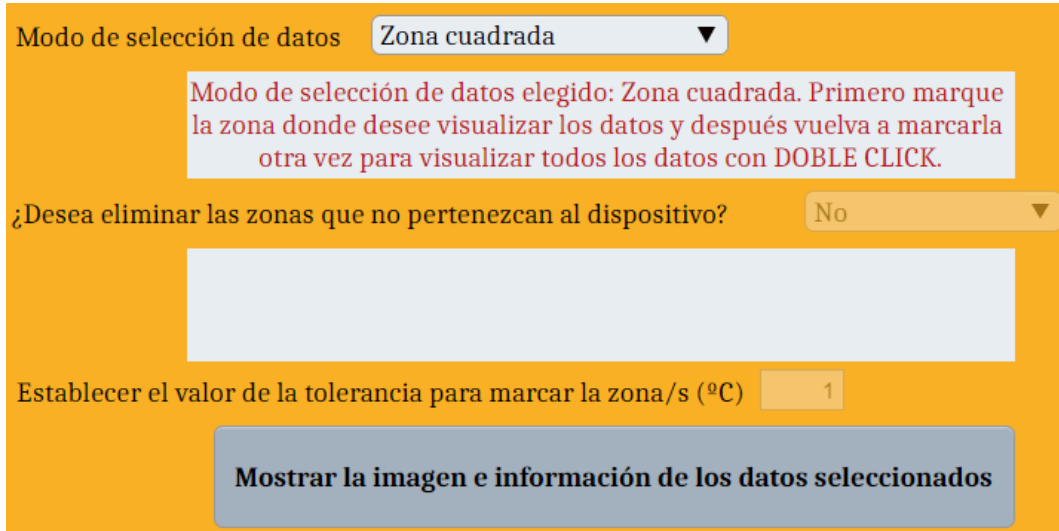


Figura 63: Instrucción para el modo de selección de datos por zona cuadrada.

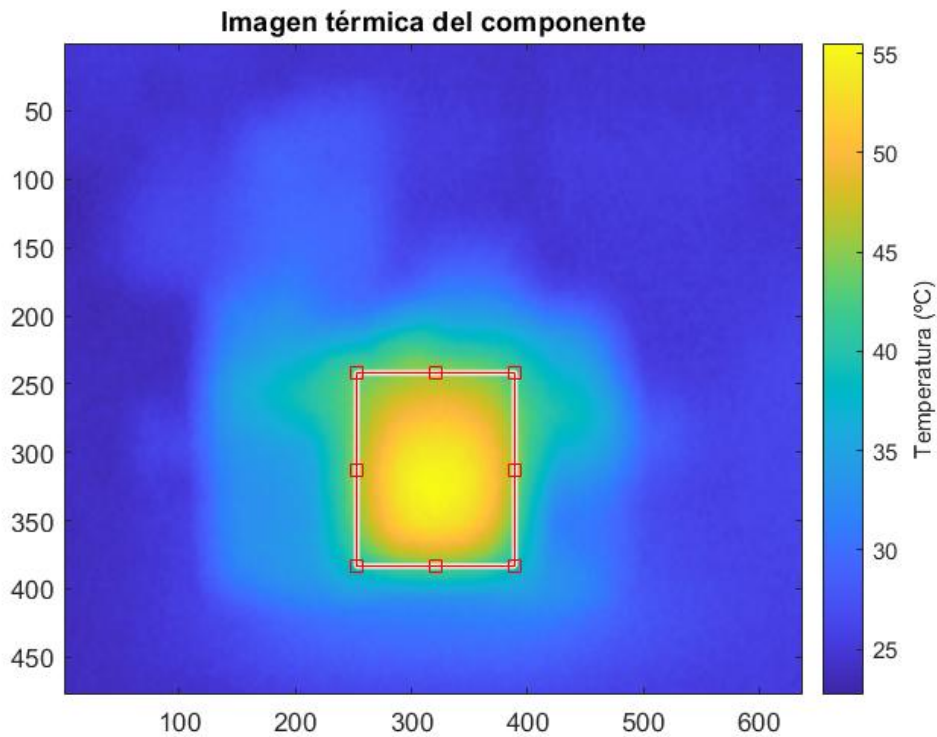


Figura 64: Zona cuadrada marcada en rojo.

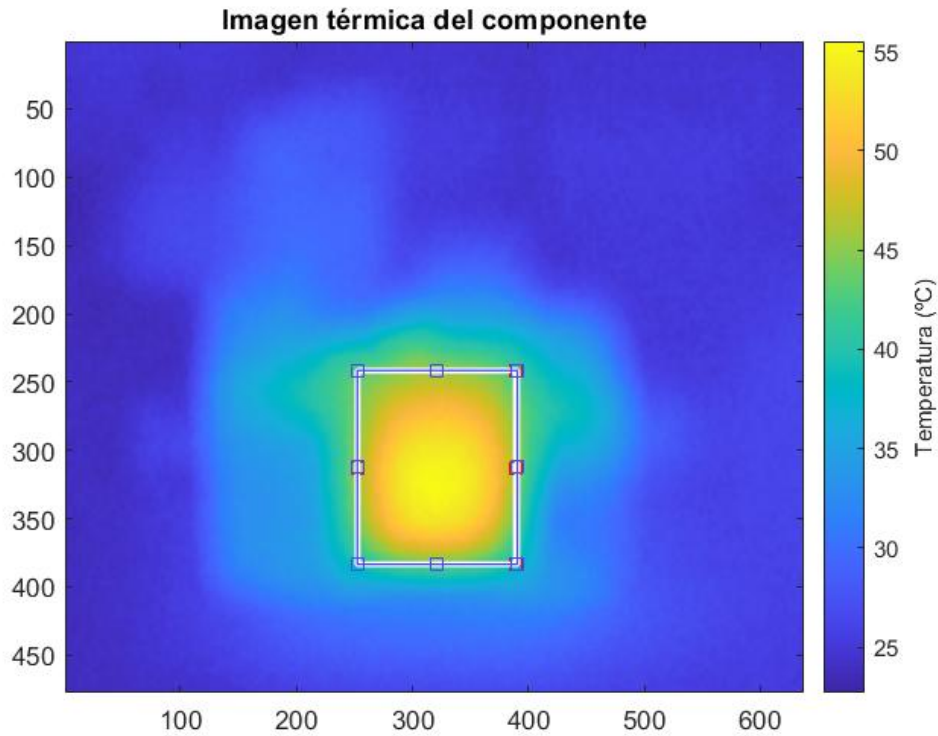


Figura 65: Zona cuadrada marcada en azul.

INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS	
Temperatura media de la zona seleccionada (°C)	48.09
Temperatura mínima de la zona seleccionada (°C)	36.57
Temperatura máxima de la zona seleccionada (°C)	55.5
Temperatura media del componente elegido (°C)	0
Temperatura mínima del componente elegido (°C)	0
Temperatura máxima del componente elegido (°C)	0
Por cada zona	

Figura 66: Datos obtenidos con el modo de selección por zona cuadrada.

- Punto/s: Cuando se selecciona este modo, aparecerá en un cuadrado gris con la instrucción para este modo de selección de datos como se muestra en la Figura 67. Los puntos que se vayan marcando aparecerán en color rojo. Tras finalizar la selección de estos puntos y clicar ENTER quedará marcada con un color magenta la zona a la que pertenece cada punto (Figura 68).

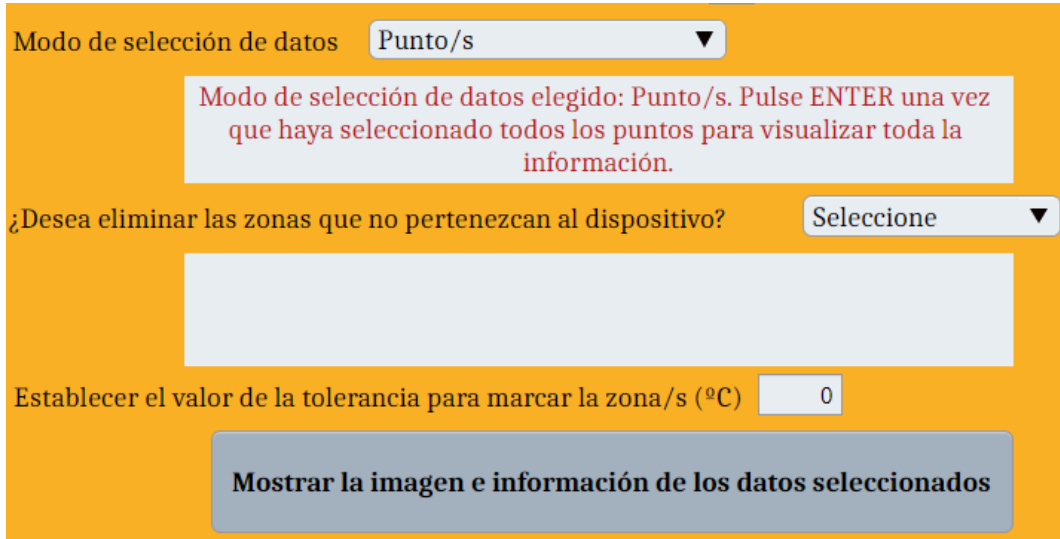


Figura 67: Instrucción para el modo de selección de datos por punto/s.

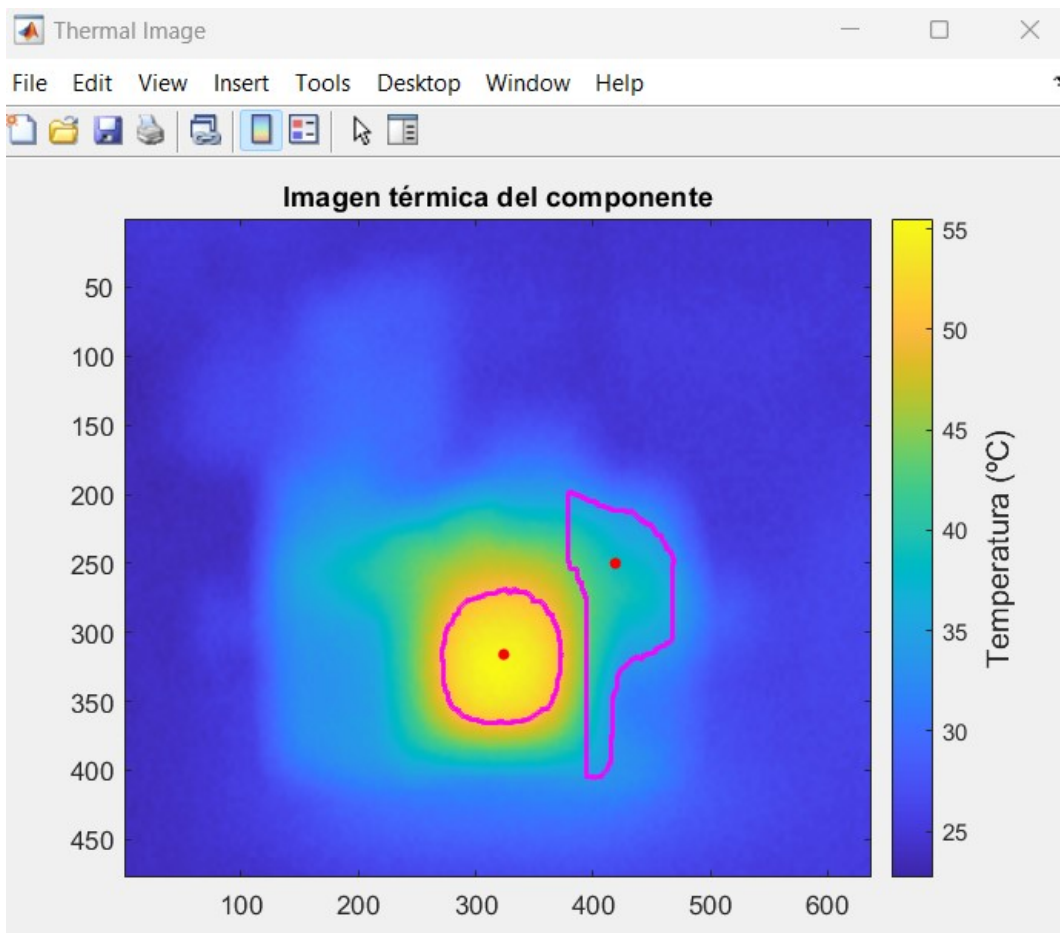


Figura 68: Zonas marcadas pertenecientes a cada punto seleccionado.

En el caso de que se haya seleccionado “Sí” para eliminar las zonas que no pertenezcan al dispositivo, aparecerá en la caja de texto gris, la instrucción que debe seguir el usuario para seleccionar las zonas que desee eliminar. Una vez finalizada esta instrucción se deben continuar seleccionando los puntos para obtener la información de las temperaturas seleccionadas (Figura 69). Las zonas eliminadas para el cálculo de temperaturas aparecerán delimitadas por las líneas blancas y los puntos marcados aparecerán en cruz negro como se muestra en la Figura 70.

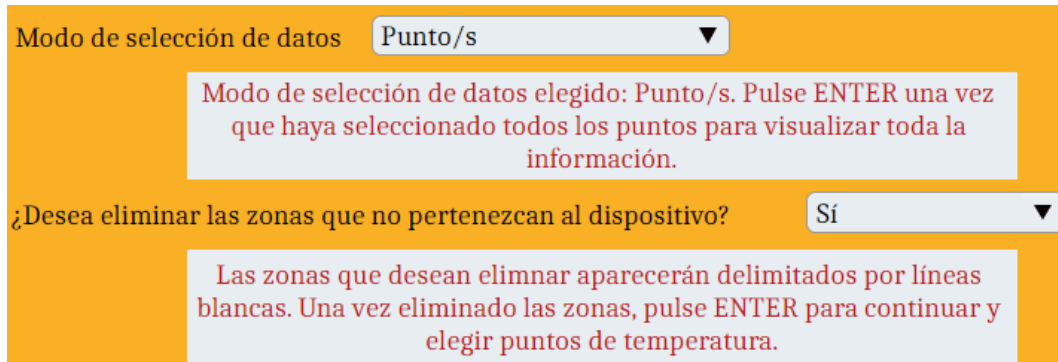


Figura 69: Instrucción para eliminar las zonas no pertenecientes al componente.

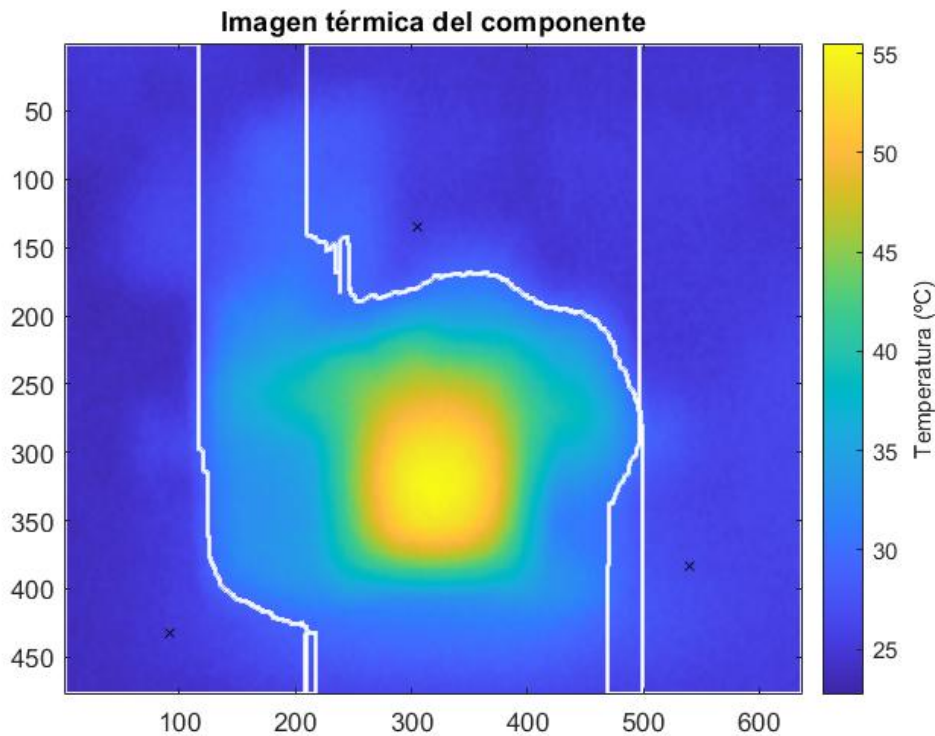


Figura 70: Zonas eliminadas, delimitadas por líneas blancas para el cálculo.

Para marcar tanto la zona a la que pertenece al punto elegido como la zona que se desea eliminar en la imagen para el cálculo, el fragmento de código que tiene implementado en el software utiliza el valor de la tolerancia introducido por el usuario y tiene que ser distinto de 0.

En base a este valor de tolerancia, el software aplica un método de búsqueda para marcar la zona a la que pertenece el punto de temperatura seleccionado. Este método de búsqueda parte del punto seleccionado y encuentra todos los puntos que pertenezcan al rango establecido, es decir, el valor de la temperatura del punto seleccionado atendiendo al valor de tolerancia introducido. Por ejemplo, si el valor de temperatura del punto seleccionado es  $30^{\circ}C$  y el valor de la tolerancia introducida es  $1^{\circ}C$ , el rango de temperatura establecido sería  $[29, 31]^{\circ}C$ . Esta búsqueda de puntos se realiza en cuatro direcciones, recorriendo verticalmente en cada dirección como se muestra en la Figura 71. El punto inicial de comparación para la búsqueda en cada dirección del recorrido vertical es la cruz (Figura 71). El recorrido de cada tramo vertical finaliza una vez localizado el punto que no pertenece al rango establecido, siendo éste el punto donde finaliza la búsqueda. De esta forma, el punto buscado será el inmediatamente anterior al que ha hecho finalizar la búsqueda. El recorrido vertical en cada dirección para la búsqueda de puntos, se irá expandiendo horizontalmente y finalizará cuando el primer punto de cada recorrido vertical no pertenezca al rango establecido. Finalizado este proceso, se unen aquellos puntos que tienen más de un punto de distancia horizontal o vertical para formar las líneas que delimiten la zona del punto seleccionado.

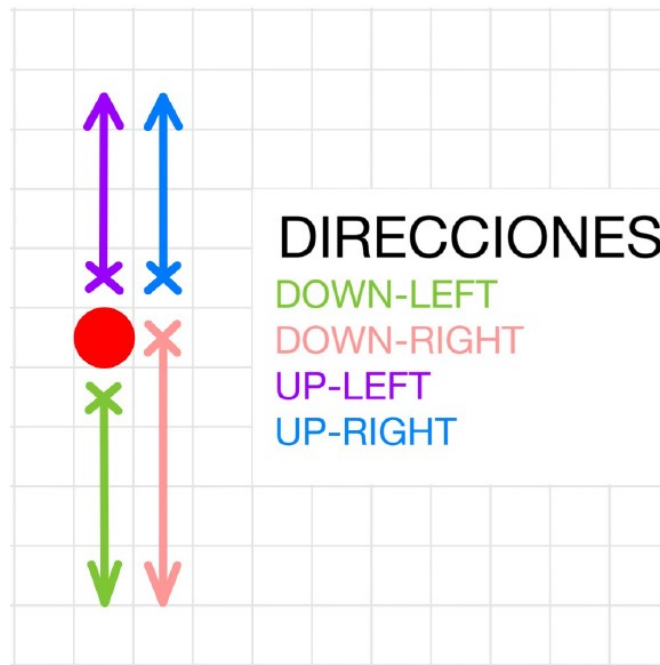


Figura 71: Esquema de búsqueda de puntos para delimitar la zona.

El resto de códigos se encargan de mostrar todos los datos del punto/s seleccionado/s como se muestra en el ejemplo de la Figura 72 y de la Figura 73.

INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS	
Temperatura media de los puntos seleccionados (°C)	43.98
Temperatura mínima de los puntos seleccionados (°C)	34.03
Temperatura máxima de los puntos seleccionados (°C)	53.92
Temperatura media del componente elegido (°C)	35.95
Temperatura mínima del componente elegido (°C)	24.06
Temperatura máxima del componente elegido (°C)	55.5
Por cada zona	<a href="#">Ver la ventana de comandos de MATLAB</a>

Figura 72: Información de todos los datos seleccionados.

```

Command Window
ZONA 1
Temperatura media = 53.137789 °C
Temperatura mínima = 50.750000 °C
Temperatura máxima = 55.500000 °C
ZONA 2
Temperatura media = 33.660699 °C
Temperatura mínima = 30.847222 °C
Temperatura máxima = 37.333333 °C
fx >>
    
```

Figura 73: Temperaturas en cada zona del punto seleccionado.

#### 7) Reiniciar

Contiene los códigos que restablecen todos los componentes a su estado de inicio cuando se pulsa el botón “REINICIAR LA APP” si el software está en español, “RESTART THE APP” si esta en inglés y “앱 다시 시작하기” si está en coreano. Este botón puede utilizarse bien para volver al estado inicial de la aplicación una vez finalizada la ejecución, bien para el caso de que quiera cambiar el archivo importado o para el caso haya habido problema en la ejecución de MATLAB.

### 8) Opciones de cada componente

Son códigos incluidos automáticamente cuando se va diseñando cada componente del software como el color, la tipografía, el tamaño de letra y la posición en la ventana del software. También incluyen códigos que habilitan la ejecución de todos los componentes de la librería añadidas al software.

## 5. Caracterización térmica con Thermo ED

### 5.1. Descripción del accionamiento eléctrico

Para la validación del funcionamiento de la herramienta diseñada para caracterizar térmicamente un accionamiento eléctrico (Thermo ED), se va a utilizar la bancada multifásica del grupo de investigación ACETI situado en el laboratorio 3507-II de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga. El esquema de este accionamiento eléctrico multifásico es el que se muestra en la Figura 74.

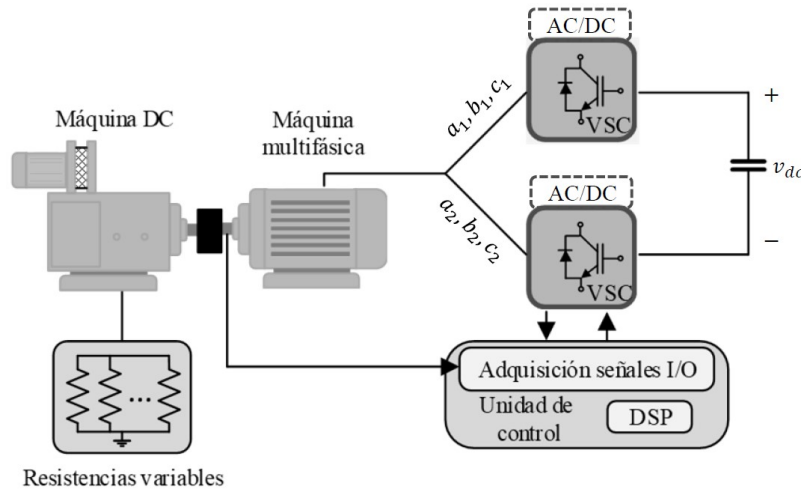


Figura 74: Esquema del accionamiento eléctrico hexafásico.

Las imágenes térmicas que se van a mostrar a continuación se corresponden con las distintas partes del accionamiento eléctrico:

- Máquina eléctrica de inducción hexafásica

Se trata de una máquina asíncrona con rotor de jaula de ardilla compuesta por 6 fases en el estátor. Estas fases están agrupadas en dos devanados trifásicos que están desfasados  $30^\circ$  entre sí y tienen sus neutros aislados. Se alimenta de las corrientes proporcionadas por dos convertidores trifásicos de dos niveles, que están conectados a cada uno de los devanados trifásicos de la máquina. En la Figura 75 se muestran la imagen real y la imagen térmica de esta máquina.

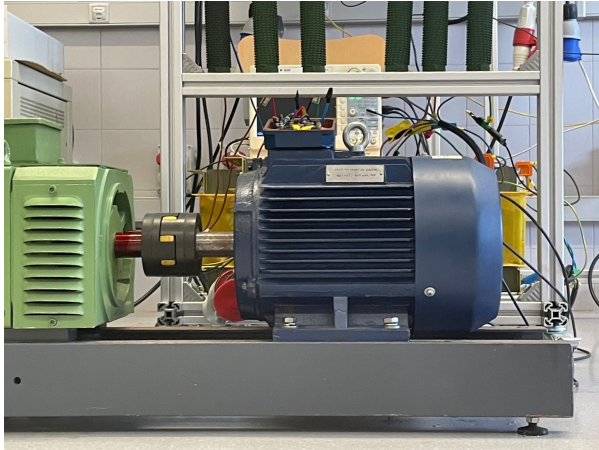


Imagen real

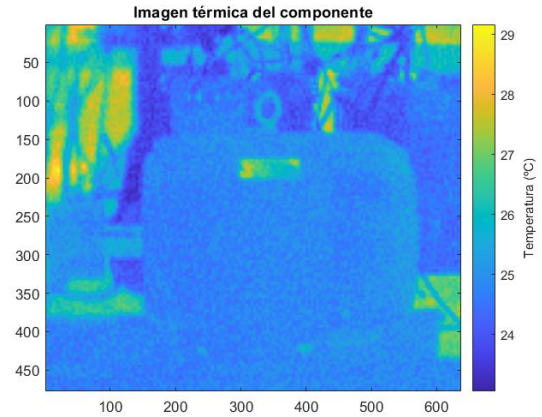


Imagen térmica

Figura 75: Máquina eléctrica de inducción hexafásica.

- Convertidores fuente de tensión.

Consta de dos convertidores de dos niveles y tres fases que alimentan el funcionamiento de la máquina hexafásica. Como se había explicado en la Sección 3.2.3, esta configuración dispone de 64 estados de conmutación. Estos convertidores realizarán las acciones de control a través de un módulo de control asociado en ellos. La imagen real y térmica de este conjunto de componentes se muestran en la Figura 76.



Imagen real

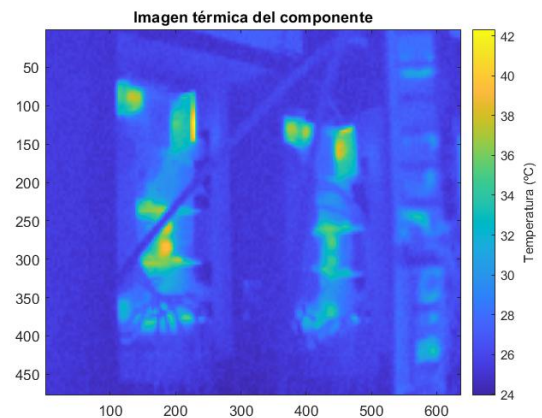


Imagen térmica

Figura 76: Convertidor VSC-2L.

- Fuente de alimentación de corriente continua

Es el componente encargado de alimentar el bus de corriente continua de los convertidores. En la Figura 76 se muestra la imagen real y térmica de dicho componente.

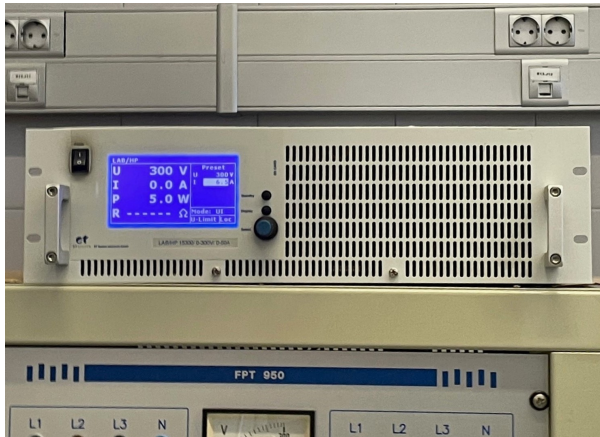


Imagen real

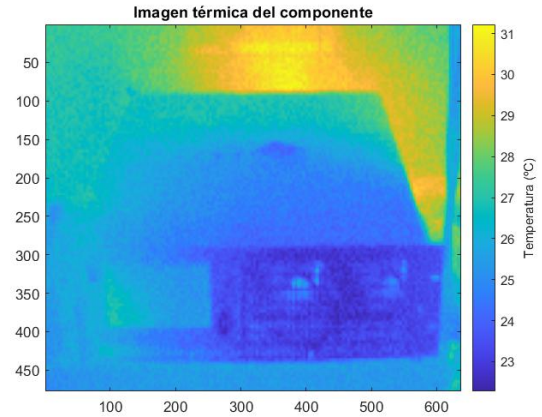


Imagen térmica

Figura 77: Fuente de alimentación de corriente continua.

- Máquina de corriente continua

Esta máquina actúa como freno electromecánico del accionamiento. Convertirá la energía mecánica en energía eléctrica por lo que la máquina de corriente continua funciona en modo generador. Esta energía eléctrica se disipará en una serie de resistencias acopladas en su circuito de armaduras. En la Figura 78 se muestra su imagen real y su imagen térmica.



Imagen real

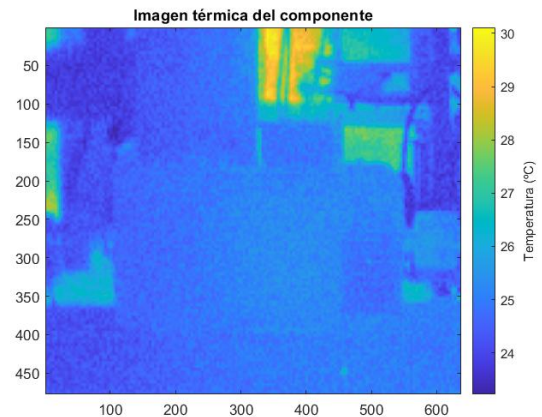


Imagen térmica

Figura 78: Máquina de corriente continua.

- Resistencias añadidas al estátor de la máquina.

Estas resistencias tienen la función de modificar los valores de las resistencias estáticas de la máquina hexafásica. En la Figura 79 se muestran la imagen real y la imagen térmica de las resistencias.



Imagen real

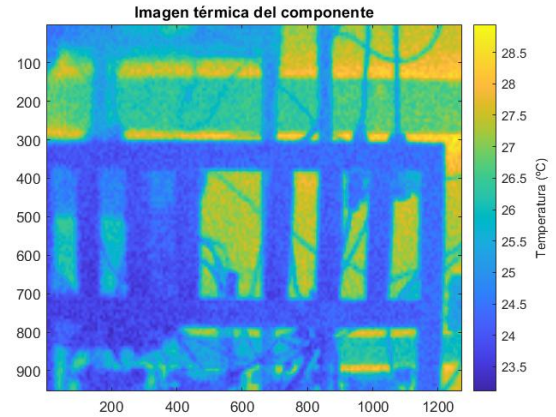


Imagen térmica

Figura 79: Resistencias añadidas al estátor de la máquina.

## 5.2. Descripción del sistema de control empleado

Como se ha mencionado con anterioridad, el sistema de control empleado en el accionamiento eléctrico descrito es el *LVV-MPC* [35]. Este esquema de control se fundamenta la aplicación de dos vectores de tensión largos adyacentes en un sólo periodo de muestreo. Cada uno de los vectores es aplicado la mitad de este periodo. De esta forma, queda compuesto lo que ha sido llamado vector virtual largo [35]. La aplicación de dos vectores de tensión largos adyacentes en el subespacio  $\alpha$ - $\beta$  genera pequeñas tensiones en el subespacio  $x$ - $y$  como se puede observar en la Figura 80 (vector con el círculo amarillo). Esto implica aprovechar un 96.6% de la tensión disponible de la fuente de alimentación a la máquina. El empleo de este tipo de vectores virtuales permite el control en lazo abierto de las corrientes  $x$ - $y$ . Con todo esto es posible alcanzar los objetivos de control con una reducción de inyección de corrientes en el plano  $x$ - $y$  y la consiguiente disminución de pérdidas en el cobre, que en definitiva será la fuente principal de las pérdidas por calor que recogerán las imágenes térmicas.

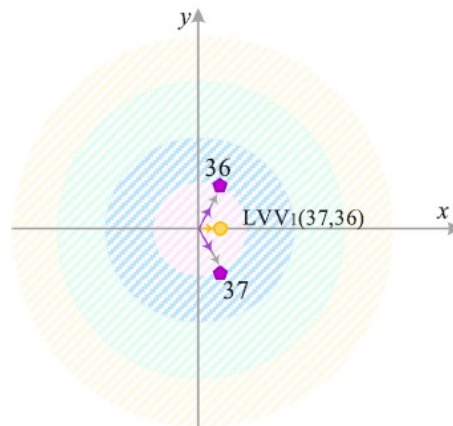


Figura 80: Salida de tensión generada en el subespacio  $x$ - $y$ .

Fuente: [35]

### 5.3. Descripción de los ensayos

Se han realizado dos ensayos (Ensayo 1 y Ensayo 2) con este accionamiento eléctrico hexafásico, funcionando en modo motor, tal y como haría generalmente en vehículos eléctricos. En ambos ensayos se ha fijado una velocidad de referencia del motor de 750 *rpm* (cercana a la velocidad nominal de la máquina). Cada uno de los ensayos ha tenido una duración de 5 minutos, garantizando su funcionamiento en estado estacionario. Durante estos ensayos se han tomado imágenes termográficas de todas las partes del accionamiento eléctrico, específicamente, en el minuto 1, minuto 3 y minuto 5 del test.

El primer ensayo (Ensayo 1), se desarrolla posicionando las resistencias añadidas al estátor de la máquina equidistantes tres a tres, es decir, las 3 resistencias añadidas de cada devanado trifásico mantienen la misma distancia entre ellas y el segundo ensayo (Ensayo 2), posicionando de forma que las resistencias añadidas al estátor no sean equidistantes en cada uno de sus devanados.

### 5.4. Resultados de los ensayos

A continuación, se incluyen las imágenes térmicas obtenidas en cada uno de los ensayos para los distintos instantes de tiempo. En aras de una comparación más justa, se ha procurado que la selección de lo/s punto/s o la zona de todas las imágenes termográficas en cada componente sean los mismos.

- Máquina eléctrica de inducción hexafásica

Las imágenes termográficas de la máquina de inducción hexafásica obtenidas en cada ensayo con Thermo ED se muestran en la Figura 81 y Figura 82 y las temperaturas obtenidas se recogen en la Tabla 1 y Tabla 2. Tal y como se indicó en la Sección 4.2, en el modo de selección por punto/s permite obtener la temperatura del componente tras eliminar las zonas que no pertenecen al mismo, que quedará marcado por las líneas blancas. Además, permitirá analizar térmicamente la zona perteneciente al área delimitada por líneas rosas.

#### Ensayo 1

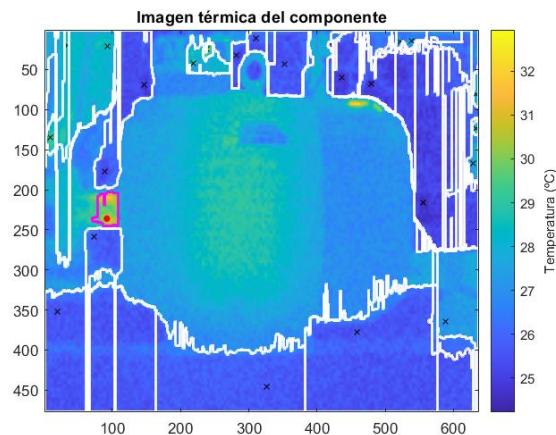


Figura 81: Ensayo 1 - Imágen termográfica de la máquina de inducción hexafásica después de los 5 min de funcionamiento.

Máquina eléctrica	Ensayo 1		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> del punto seleccionado (°C)	25,5	27,75	30,87
T <sup>a</sup> media del componente (°C)	23,25	24,52	27,75
T <sup>a</sup> mínima del componente (°C)	21,61	22,61	24,72
T <sup>a</sup> máxima del componente (°C)	27,67	29,39	32,94
T <sup>a</sup> media de la zona del punto seleccionado (°C)	24,71	26,37	30,08
T <sup>a</sup> mínima de la zona del punto seleccionado (°C)	23,69	24,08	28,78
T <sup>a</sup> máxima de la zona del punto seleccionado (°C)	25,61	27,39	31,83

Tabla 1: Ensayo 1 - Temperaturas de la máquina de inducción hexafásica obtenidas con Thermo ED.

Ensayo 2

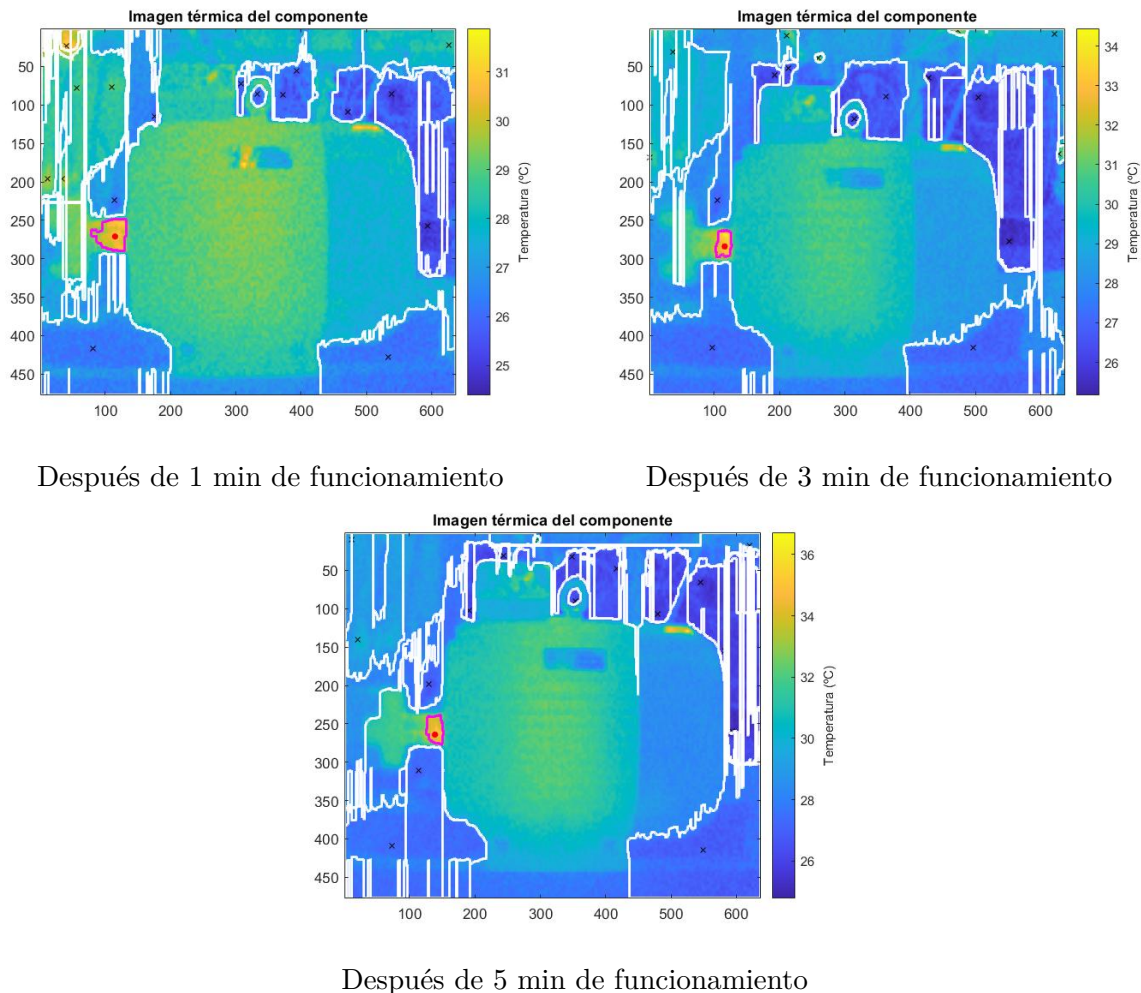


Figura 82: Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la máquina de inducción hexafásica.

Máquina eléctrica	Ensayo 2		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> del punto seleccionado (°C)	30,94	33,55	34,7
T <sup>a</sup> media del componente (°C)	28,30	29,04	30
T <sup>a</sup> mínima del componente (°C)	24,94	25,56	25,39
T <sup>a</sup> máxima del componente (°C)	31,89	34,44	36,72
T <sup>a</sup> media de la zona del punto seleccionado (°C)	30,13	32,82	33,99
T <sup>a</sup> mínima de la zona del punto seleccionado (°C)	29,08	31,56	31,69
T <sup>a</sup> máxima de la zona del punto seleccionado (°C)	31,11	34,44	35,39

Tabla 2: Ensayo 2 - Temperaturas de la máquina de inducción hexafásica obtenidas con Thermo ED.

Se puede observar que la temperatura de la máquina aumenta con el tiempo de funcionamiento en ambos ensayos como era previsible.

A pesar de que las temperaturas iniciales no son las mismas en ambos ensayos y que en el Ensayo 2 hay una disposición asimétrica en las resistencias del estátor, se observa que el gradiente de temperatura en ambos ensayos, no difiere significativamente.

Con respecto al punto seleccionado, que pertenece a la parte donde sale la corriente continua para alimentar a la máquina de corriente continua, se puede observar que es una de las partes más caliente pero no llega a alcanzar una temperatura excesivamente alta.

- Convertidores VSC-2L

Las imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L obtenidas en cada ensayo con Thermo ED se muestran en la Figura 83 y Figura 84 y las temperaturas obtenidas se recogen en la Tabla 3 y Tabla 4. La selección de datos por zonas rectangulares permite obtener la zona delimitada por el usuario en la imagen.

Ensayo 1

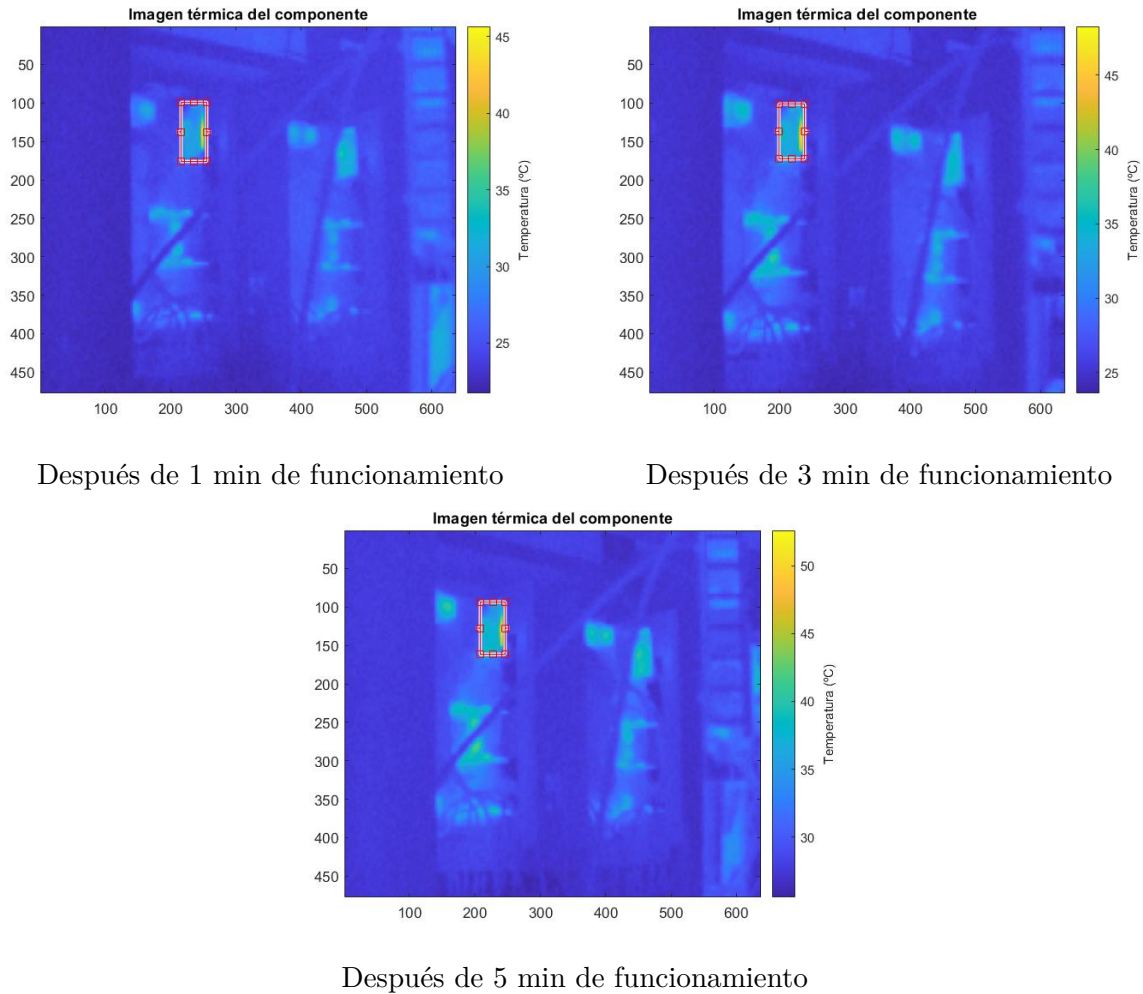


Figura 83: Ensayo 1 - Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L.

Convertidores VSC-2L	Ensayo 1		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	29,55	32,77	36,07
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	23,64	25,56	28,11
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	45,67	48,28	52,61

Tabla 3: Ensayo 1 - Temperaturas de los convertidores VSC-2L obtenidas con Thermo ED.

Ensayo 2

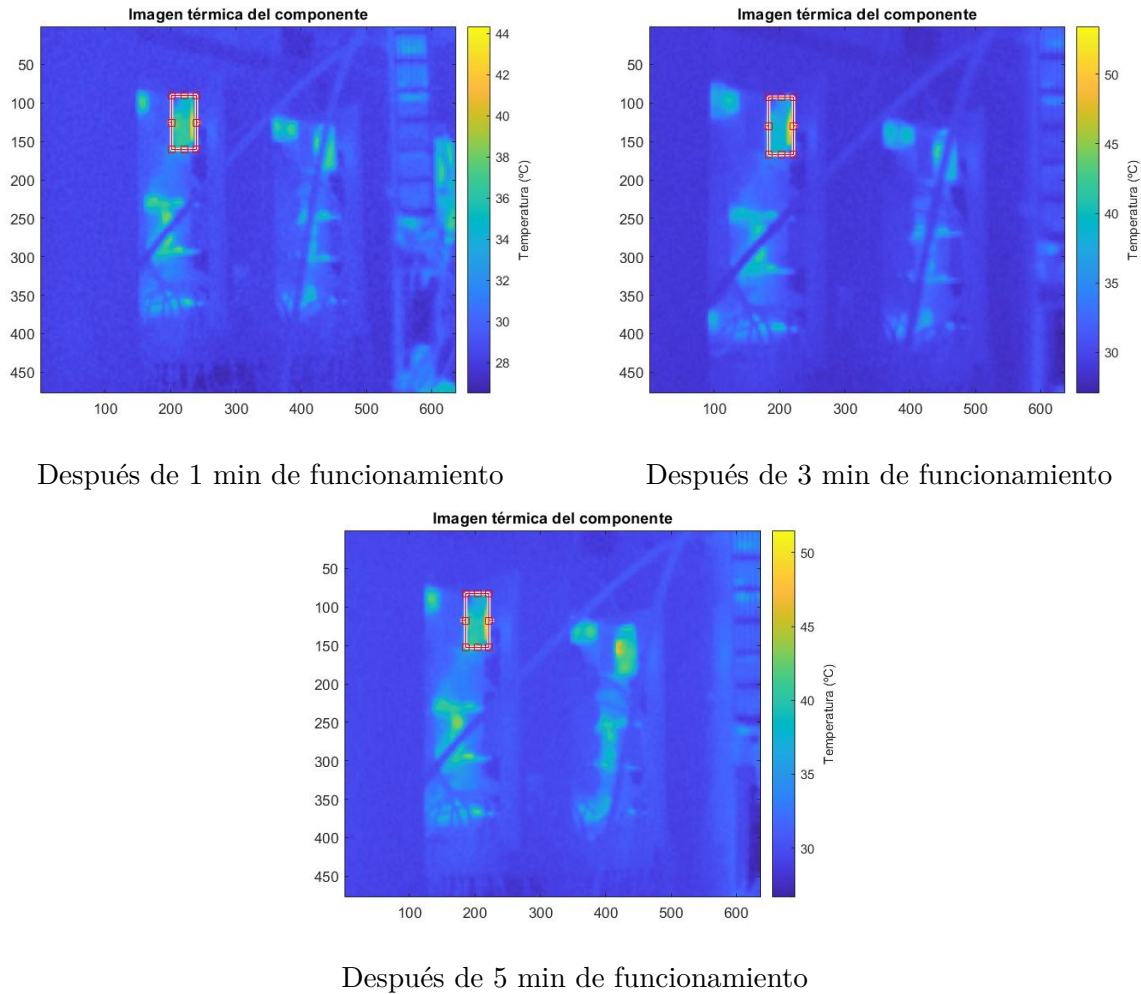


Figura 84: Ensayo 2 - Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L.

Convertidores VSC-2L	Ensayo 2		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	34,49	37,57	37,74
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	28,83	29,79	29,67
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	44,33	53,44	51,5

Tabla 4: Ensayo 2 - Temperaturas de los convertidores VSC-2L obtenidas con Thermo ED.

Se puede observar que la temperatura de la zona seleccionada en uno de los convertidores aumenta con el tiempo de funcionamiento cuando las resistencias añadidas al estátor de la máquina están posicionadas de forma simétrica (Ensayo 1) pero cuando están posicionadas de forma asimétrica no es así para cuando el funcionamiento del accionamiento pasa de 3 minutos a 5 minutos. Lo esperable es que con el tiempo la temperatura de la zona seleccionada

aumente pero viendo que la temperatura media sí incrementa, se puede deducir que el ángulo de la imagen termográfica del Ensayo 2 a los 5 minutos de funcionamiento no incluye la misma parte que en las dos imágenes anteriores.

■ Fuente de alimentación de corriente continua

Las imágenes termográficas de la fuente de alimentación de corriente continua obtenidas en cada ensayo con Thermo ED se muestran en la Figura 85 y Figura 86 y las temperaturas obtenidas se recogen en la Tabla 5 y Tabla 6.

**Ensayo 1**

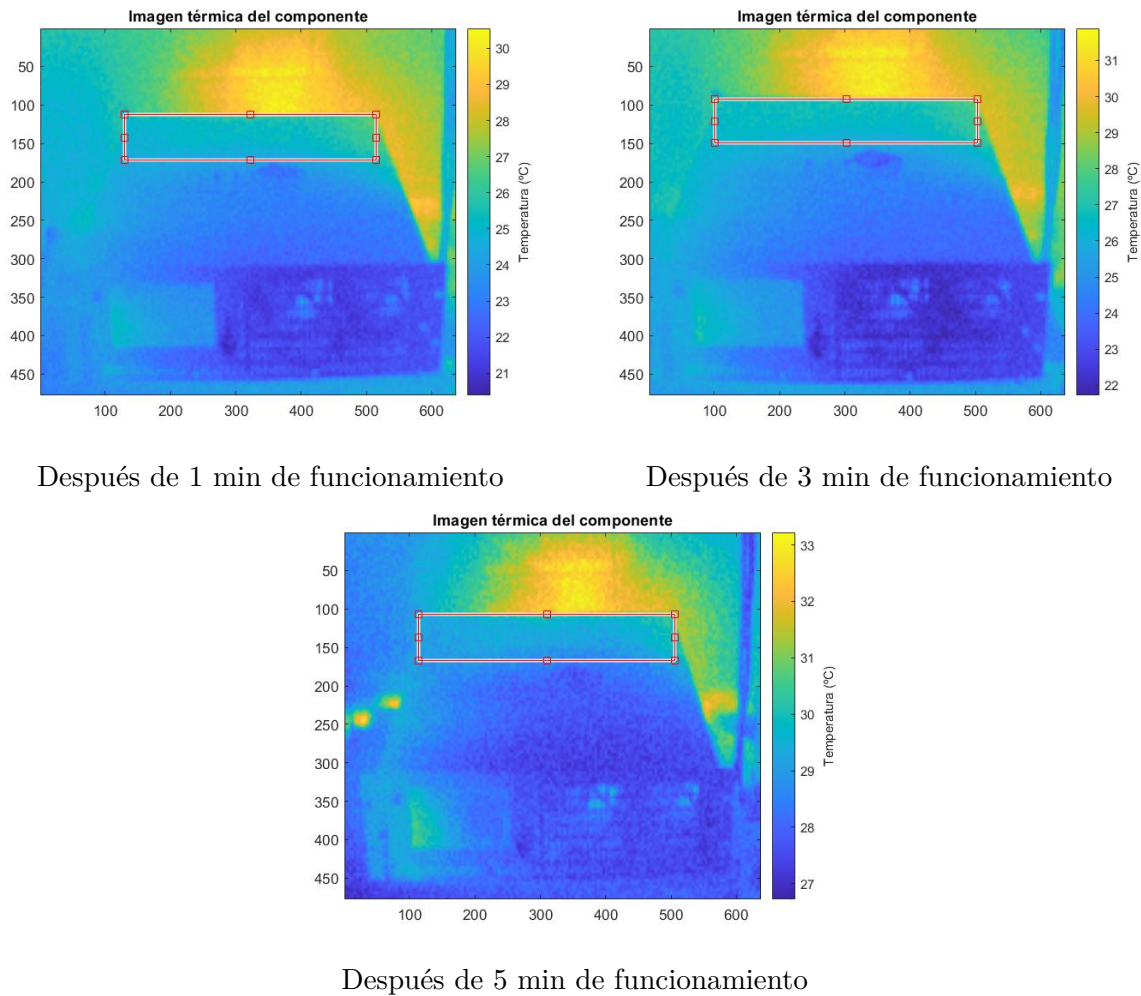


Figura 85: Ensayo 1 - Imágenes termográficas de la fuente de alimentación de corriente continua.

Fuente de alimentación de corriente continua	Ensayo 1		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	25,25	26,63	29,36
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	23,94	25,39	28,19
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	27,83	29,21	31,42

Tabla 5: Ensayo 1 - Temperaturas de la fuente de alimentación de corriente continua obtenidas con Thermo ED.

Ensayo 2

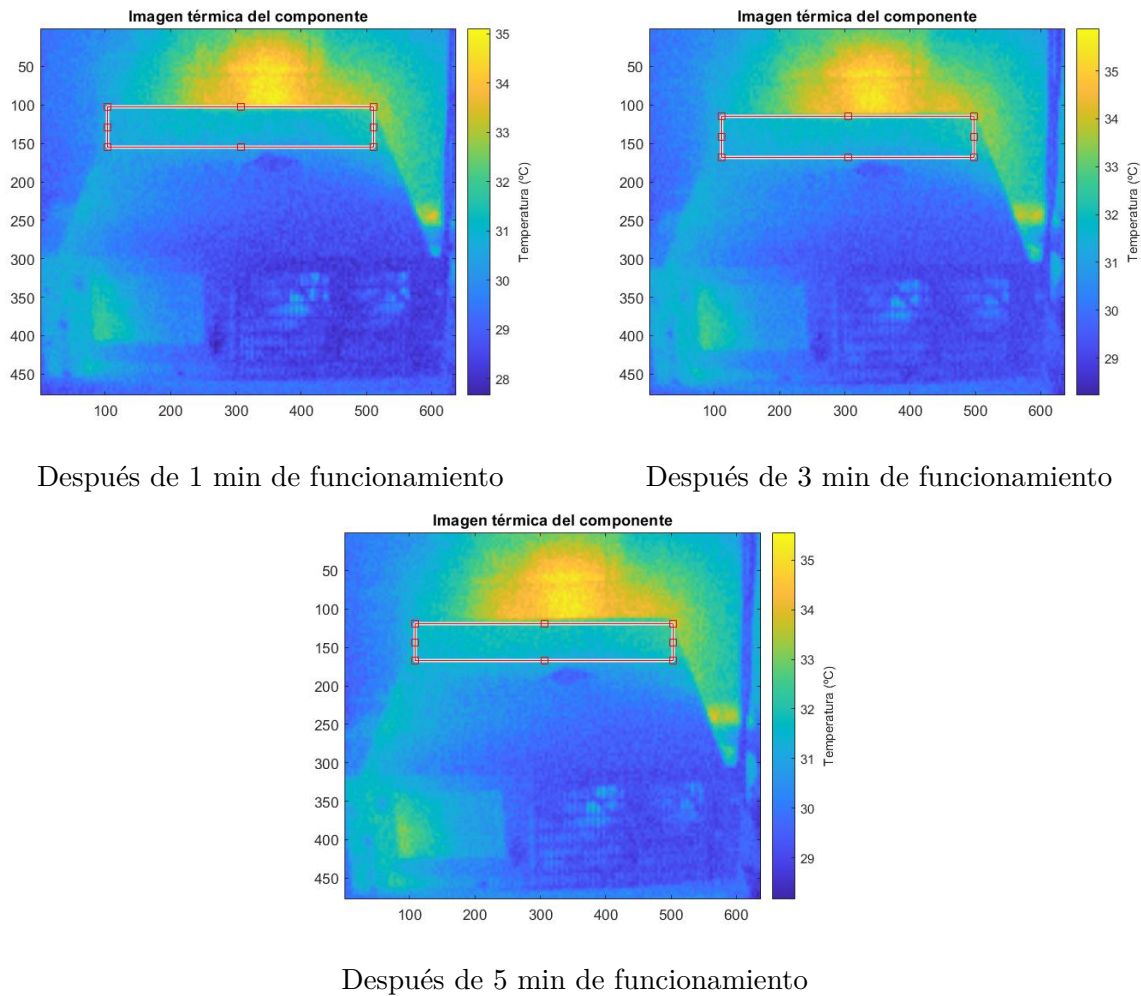


Figura 86: Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la fuente de alimentación de corriente continua.

Se observa, como era de esperar, que la temperatura de la zona seleccionada, que es la parte donde se realizan las conexiones (dc-link) al armario donde se localizan los convertidores y cercanas a la zona de extracción de calor por ventilación, aumenta con el tiempo sin alcanzar una temperatura elevada.

Fuente de alimentación de corriente continua	Ensayo 2		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	30,66	31,63	31,71
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	28,44	30,51	30,89
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	32,36	33,40	33,58

Tabla 6: Ensayo 2 - Temperaturas de la fuente de alimentación de corriente continua obtenidas con Thermo ED.

■ Máquina de corriente continua

Las imágenes termográficas de la máquina de corriente continua en cada ensayo con Thermo ED se muestran en la Figura 87 y Figura 88 y las temperaturas obtenidas se recogen en la Tabla 7 y Tabla 8.

**Ensayo 1**

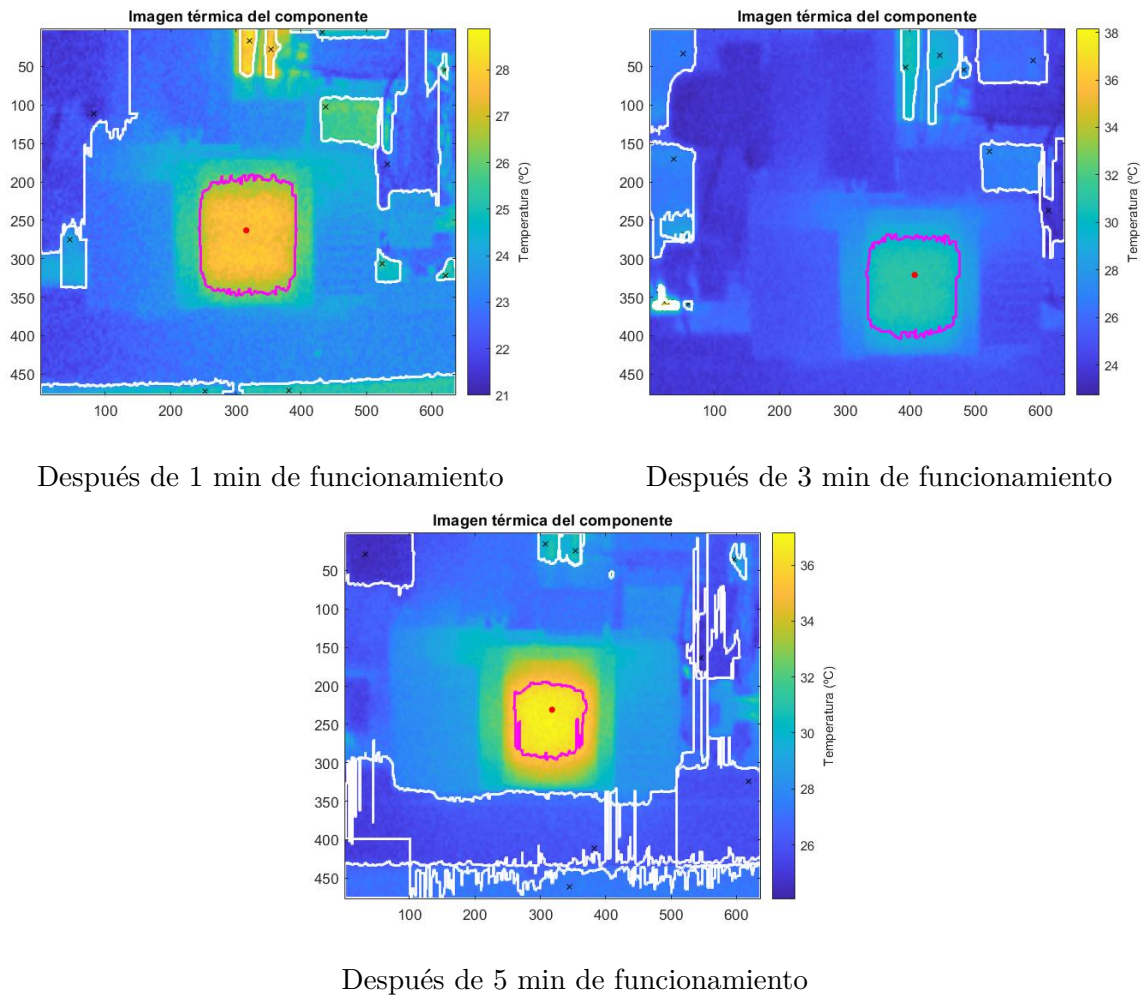


Figura 87: Ensayo 1 - Imágenes termográficas de la máquina de corriente continua.

Máquina de corriente continua	Ensayo 1		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> del punto seleccionado (°C)	27,74	30,49	36,9
T <sup>a</sup> media del componente (°C)	23,83	25,55	28,78
T <sup>a</sup> mínima del componente (°C)	21,44	22,72	24,67
T <sup>a</sup> máxima del componente (°C)	28,11	36,86	37,17
T <sup>a</sup> media de la zona del punto seleccionado (°C)	27,25	30,48	36,35
T <sup>a</sup> mínima de la zona del punto seleccionado (°C)	26,08	29,28	35,44
T <sup>a</sup> máxima de la zona del punto seleccionado (°C)	28,11	31,44	37,17

Tabla 7: Ensayo 1 - Temperaturas de la máquina de corriente continua obtenidas con Thermo ED.

## Ensayo 2

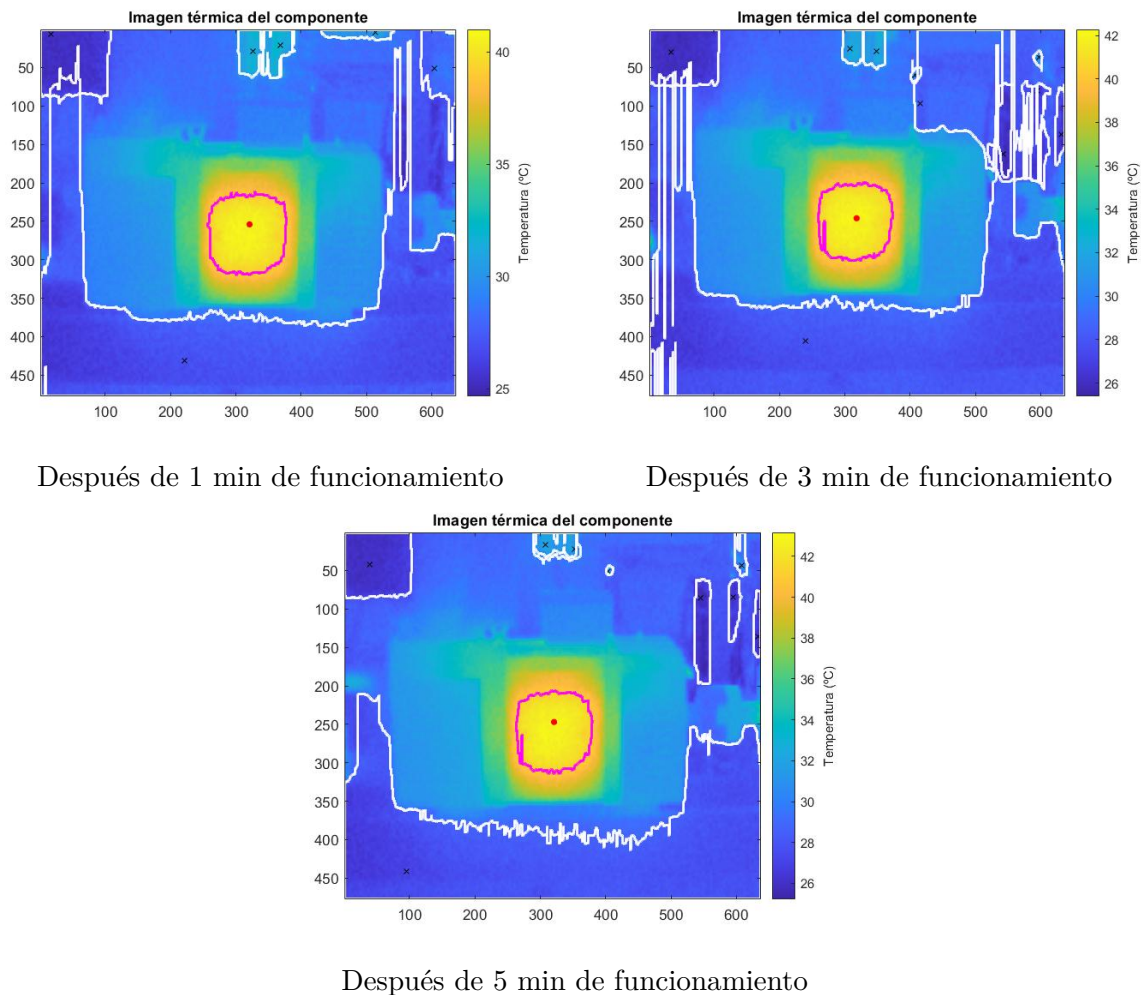


Figura 88: Ensayo 2 - Imágenes termográficas de la máquina de corriente continua.

Máquina de corriente continua	Ensayo 2		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> del punto seleccionado (°C)	40,49	41,87	42,56
T <sup>a</sup> media del componente (°C)	30,78	32,12	31,87
T <sup>a</sup> mínima del componente (°C)	24,67	25,94	25,56
T <sup>a</sup> máxima del componente (°C)	41,00	42,28	43,17
T <sup>a</sup> media de la zona del punto seleccionado (°C)	39,92	41,23	42,01
T <sup>a</sup> mínima de la zona del punto seleccionado (°C)	28,81	40,17	37,52
T <sup>a</sup> máxima de la zona del punto seleccionado (°C)	41,00	42,28	43,17

Tabla 8: Ensayo 2 - Temperaturas de la máquina de corriente continua obtenidas con Thermo ED.

Según los datos obtenidos, la temperatura de la máquina de corriente continua aumenta con el tiempo de funcionamiento. El punto seleccionado en las imágenes termográficas es la parte más caliente de la máquina, donde está situada el estátor y el rotor de la máquina. Cuando el tiempo de funcionamiento del accionamiento eléctrico pasa de 3 minutos a 5 minutos en el primer ensayo, se observa un incremento de temperatura bastante alto en la parte del estátor y del rotor, pudiéndose deducir que si se hubiera continuado con el funcionamiento del accionamiento, se hubiera sobrecalentado dicha parte de la máquina.

- Resistencias añadidas al estátor de la máquina

Las imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina en cada ensayo con Thermo ED se muestran en la Figura 89 y Figura 90 y las temperaturas obtenidas se recogen en la Tabla 9 y Tabla 10.

Ensayo 1

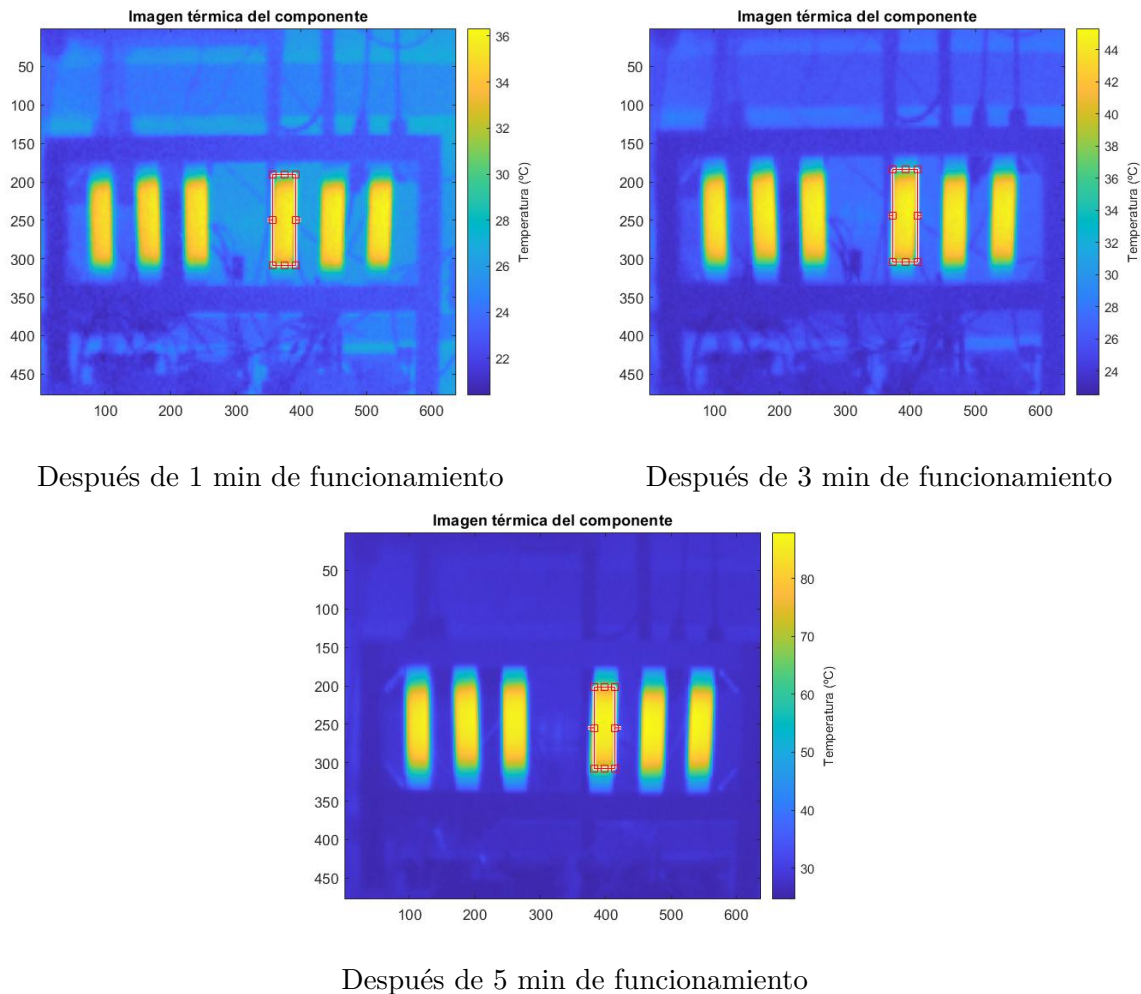


Figura 89: Ensayo 1 - Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina.

Resistencias añadidas al estátor de la máquina	Ensayo 1		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	33,55	41,1	81,37
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	24,33	26,19	52,81
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	36,17	45,33	87,00

Tabla 9: Ensayo 1 - Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina obtenidas con Thermo ED.

## Ensayo 2

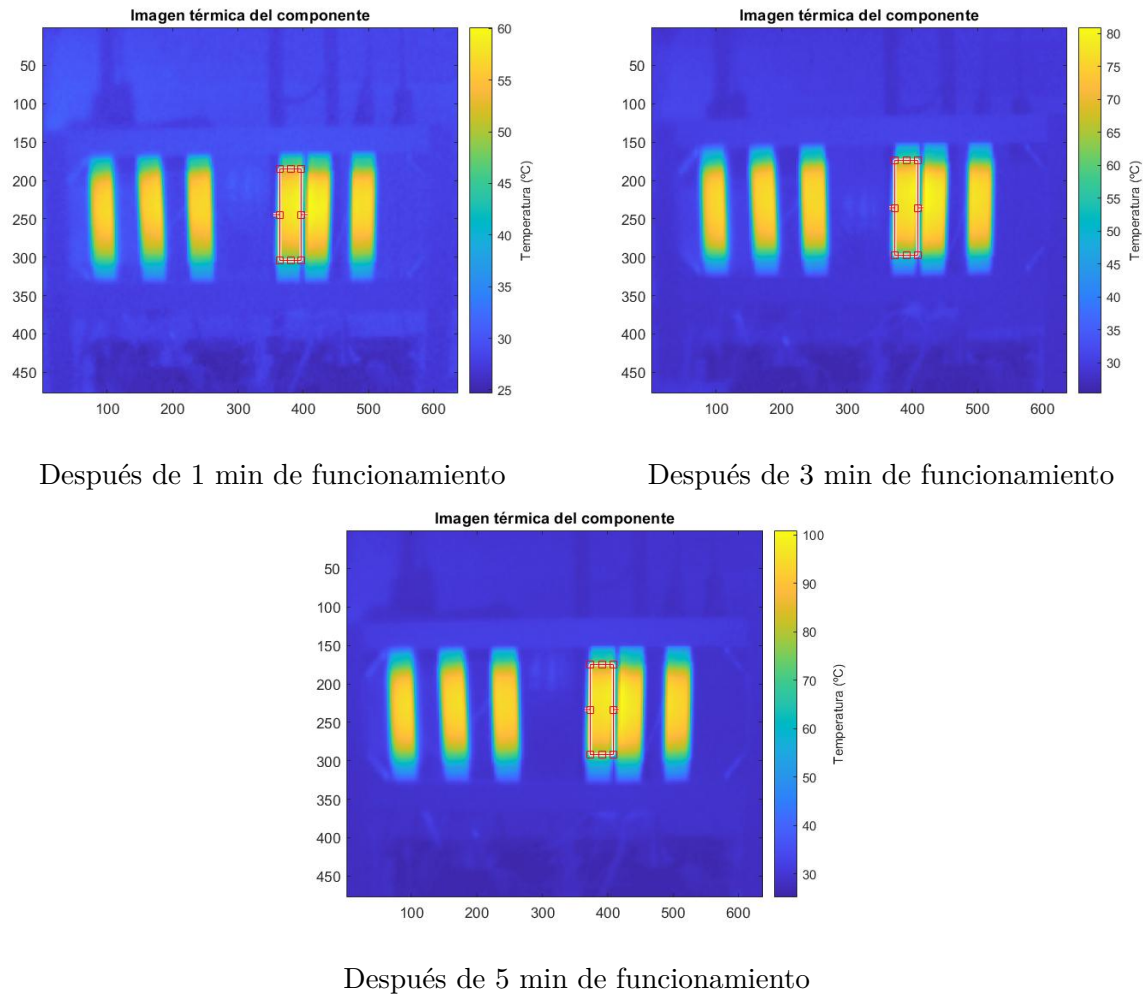


Figura 90: Ensayo 2 - Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina.

Resistencias añadidas al estátor de la máquina	Ensayo 2		
	1 min	3 min	5min
T <sup>a</sup> media de la zona seleccionada (°C)	54,85	71,74	88,94
T <sup>a</sup> mínima de la zona seleccionada (°C)	37,94	39	49
T <sup>a</sup> máxima de la zona seleccionada (°C)	59,56	79,67	97,89

Tabla 10: Ensayo 2 - Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina obtenidas con Thermo ED.

Las resistencias añadidas al estátor de la máquina alcanzan las temperaturas más altas que en otros componentes según los datos de temperaturas obtenidos con Thermo ED. También aumentan notablemente sus temperaturas con el tiempo de funcionamiento del accionamiento eléctrico y se observa un aumento más rápido de temperaturas en los tres primeros minutos del Ensayo 2 debido a la proximidad de las resistencias. Esto puede acabar originando asimetrías en las corrientes de alimentación a la máquina dado que puede llegar a afectar a los parámetros del estátor.

### 5.4.1. Ventajas del procesado de imágenes

Con objeto de verificar el beneficio de emplear el Thermo ED para la caracterización térmica de los accionamientos eléctricos, se ha procedido a comparar las temperaturas obtenidas de algunos componentes del accionamiento con toda la imagen original y los modos de selección de datos que incluye la aplicación Thermo ED. Este último caso se refiere a las temperaturas obtenidas cogiendo sólo el componente del accionamiento dentro de la imagen cuando se utiliza el modo de selección por zona cuadrada o eliminando las zonas que no pertenecen al componente cuando se utiliza el modo de selección por punto/s. Para ello, se han utilizado las imágenes del Ensayo 1 a los 3 minutos de funcionamiento.

Las imágenes y las temperaturas de los convertidores obtenidas se muestran en la Figura 91 y la Tabla 11 respectivamente.

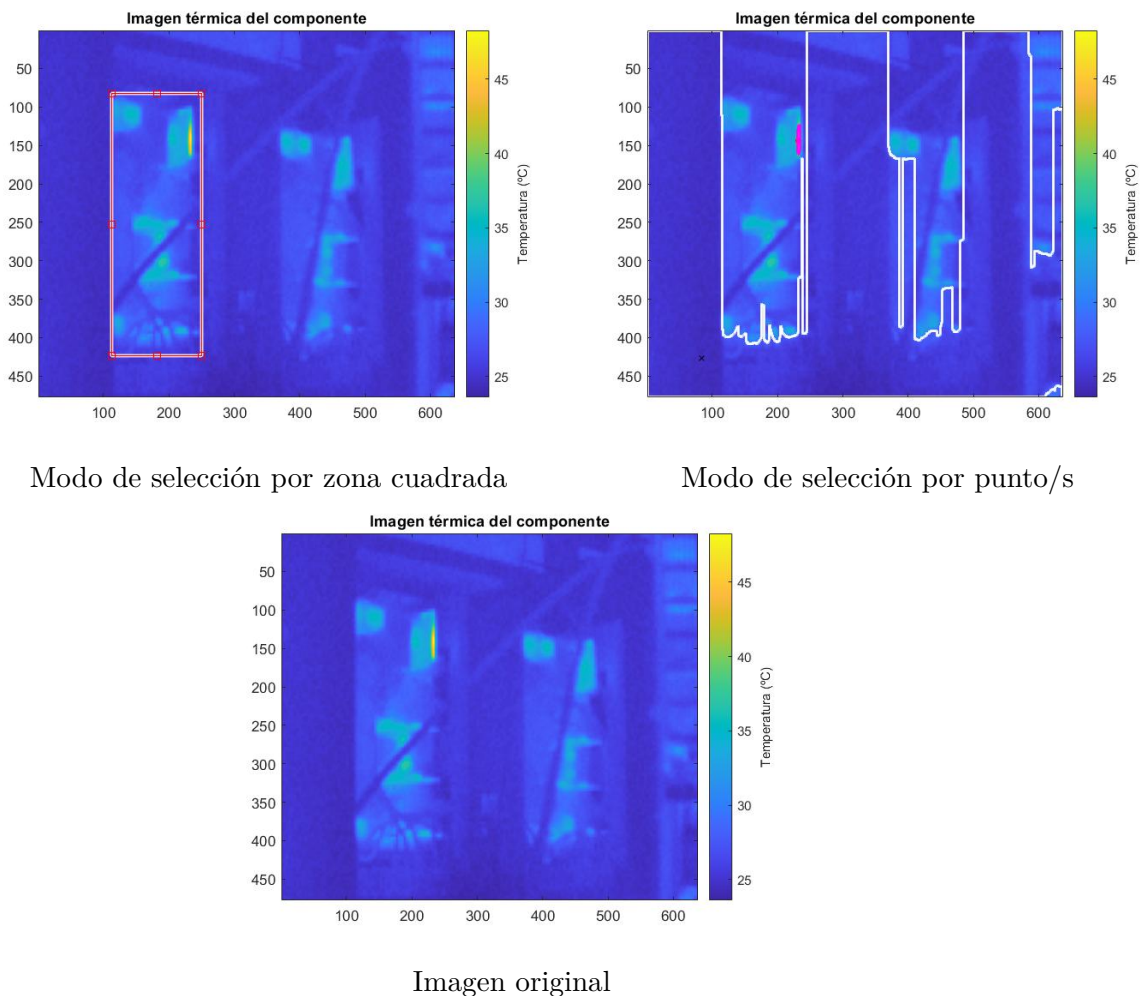


Figura 91: Imágenes termográficas de los convertidores VSC-2L en el Ensayo 1 a los 3 min de funcionamiento, obtenidas para la comparación.

Convertidores VSC-2L	Ensayo 1 - 3 min		
	Imagen completa	Zona cuadrada	Punto/s
<b>T<sup>a</sup> media (°C)</b>	26,13	28,08	27,63
<b>T<sup>a</sup> mínima (°C)</b>	23,61	24,33	24,39
<b>T<sup>a</sup> máxima (°C)</b>	48,28	48,28	48,28

Tabla 11: Temperaturas de los convertidores VSC-2L a los 3 minutos de funcionamiento en el Ensayo 1.

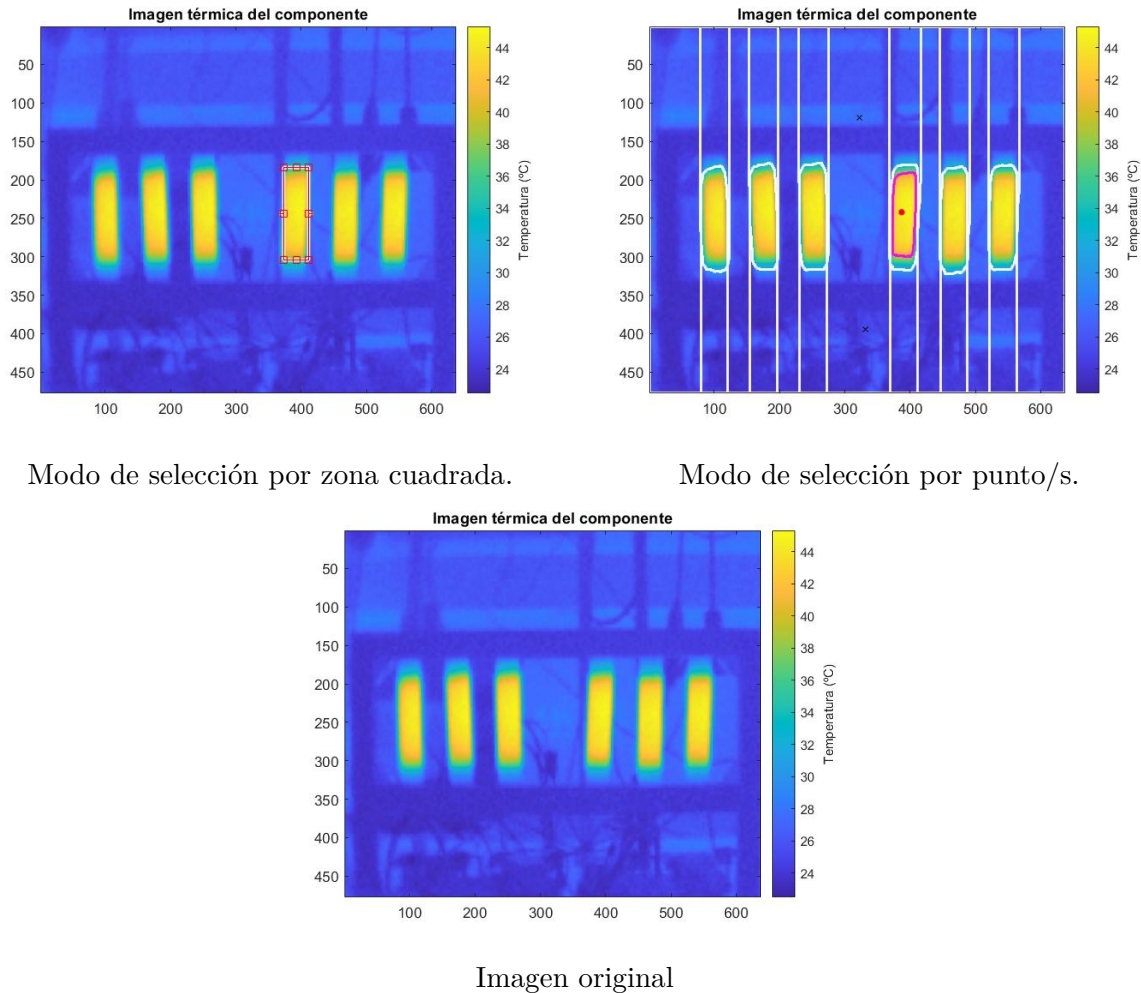
Se observa que en la temperatura máxima obtenida de los convertidores no hay diferencia, pero sí en la temperatura mínima y en la temperatura media obtenidas. El porcentaje de error que se comete en la temperatura media y en la temperatura mínima de los convertidores obtenidas con la imagen completa con respecto a las imágenes sin incluir las zonas no pertenecientes al componente se muestra en la Tabla 12.

Convertidores VSC-2L Ensayo 1 - 3 min	Error cometido	
	Zona cuadrada	Punto/s
<b>T<sup>a</sup> media (°C)</b>	6,94 %	5,43 %
<b>T<sup>a</sup> mínima (°C)</b>	2,96 %	3,20 %

Tabla 12: Error relativo de temperaturas con respecto a la imagen original de convertidores VSC-2L.

Se puede observar en la Tabla 12 que existe un cierto error relativo en la temperatura mínima y en la temperatura media cuando se incluyen en el cálculo las zonas no propias del componente del accionamiento.

También se ha realizado este análisis para el caso de las resistencias añadidas al estátor de la máquina, cuyas imágenes y las temperaturas obtenidas se muestran en la Figura 92 y en la Tabla 13 respectivamente.



Modo de selección por zona cuadrada.

Modo de selección por punto/s.

Imagen original

Figura 92: Imágenes termográficas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina en el Ensayo 1 a los 3 min de funcionamiento, obtenidas para la comparación.

Resistencias añadidas al estátor de la máquina	Ensayo 1 - 3 min		
	Imagen completa	Zona cuadrada	Punto/s
T <sup>a</sup> media (°C)	27,04	41,1	40,34
T <sup>a</sup> mínima (°C)	22,5	26,19	30,1
T <sup>a</sup> máxima (°C)	45,33	45,33	45,33

Tabla 13: Temperaturas de las resistencias añadidas al estátor de la máquina a los 3 minutos de funcionamiento en el Ensayo 1.

Al igual que en los convertidores, no existe diferencia en la temperatura máxima obtenida pero en la temperatura media y temperatura obtenidas presentan bastante diferencia. El porcentaje de error que se comete cuando se obtienen la temperatura media y la temperatura mínima con la imagen completa con respecto a la imagen sin incluir las zonas pertenecientes al componente, se muestran en la Tabla 14.

Resistencias añadidas al estátor de la máquina Ensayo 1 - 3 min	Error cometido	
	Zona cuadrada	Punto/s
T <sup>a</sup> media (°C)	34,21 %	32,97 %
T <sup>a</sup> mínima (°C)	14,09 %	25,25 %

Tabla 14: Error relativo de temperaturas con respecto a la imagen original de las resistencias añadidas al estátor de la máquina.

Tanto la temperatura media como la temperatura media de las resistencias añadidas al estátor obtenidas con la imagen completa, presentan errores elevados. Como se puede comprobar en las imágenes de la Figura 92, la eliminación de las zonas no pertenecientes al componente, permiten una estimación más certera de la temperatura real del mismo.

#### 5.4.2. Análisis de los resultados obtenidos con Thermo ED

En cuanto a los resultados de los dos ensayos, se puede comprobar que en el modo de selección por puntos, la delimitación de la zona de cada punto es aproximada. Así, los resultados de las temperaturas del componente del accionamiento tras haber eliminado las zonas no pertenecientes al componente, tendrán un pequeño error, en concreto, la temperatura mínima que casi siempre será el punto de la temperatura que no pertenece a la zona del componente y la temperatura media que incluirá esa temperatura mínima en el cálculo. Cuando el usuario tome las fotos termográficas de un componente, debe intentar que la distancia y el ángulo donde tome las fotos sean las mismas para poder realizar una caracterización térmica más exacta posible del accionamiento eléctrico y que aparezcan lo menor posible otros objetos que puedan ocasionar fallos en el análisis de los resultados.

Por otro lado, en cuanto a la comparación realizada entre obtener temperaturas de cada componente del accionamiento con la imagen original y con la imagen sin incluir las zonas no pertenecientes al componente, el beneficio de emplear el Thermo ED es que se puede evitar cometer elevados errores en la obtención de las temperaturas con respecto a las temperaturas reales.

## 6. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

### 6.1. Conclusiones

El empleo de Thermo ED para la caracterización térmica de cualquier accionamiento eléctrico permite obtener de manera sencilla información relevante sobre las temperaturas de diferentes partes del accionamiento eléctrico. De esta forma, es posible analizar el funcionamiento del accionamiento eléctrico desde un punto de vista térmico, poco abordado en la literatura del área.

Esta aplicación, como se ha podido comprobar en la validación de su ejecución en la sección anterior, presenta la ventaja de ser flexible a la hora de seleccionar los datos por los dos modos de selección. El modo de selección por zona cuadrada será adecuado para el caso de que la imagen termográfica presentara otros objetos que dificulten identificar el componente del accionamiento que se esté analizando. Por tanto, será el modo de funcionamiento recomendado. Por otro lado, el modo de selección por punto/s será apropiado para obtener los datos de temperaturas de geometrías más irregulares.

Otra ventaja del Thermo ED es la precisión mejorada en las temperaturas obtenidas. El programa que acompaña para ver la imagen tomada con la cámara térmica (Smart View Classic) sólo proporciona datos de temperaturas de la imagen completa, que como se vio en la sección anterior. En el análisis de esta imagen se comenten errores notables en la obtención de valores térmicos que caracterizan los componentes de un accionamiento eléctrico. En cambio, Thermo ED permite obtener las temperaturas haciendo la operación necesaria como no incluir las zonas que no son pertenecen al componente del accionamiento o seleccionar una parte específica del componente a través de los dos modos de selección de datos en la imagen.

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, Thermo ED permite al usuario conocer de manera más precisa con facilidad las temperaturas de los componentes del accionamiento. En consecuencia, los usuarios podrán tomar decisiones sobre el diseño, regulación y/o mantenimiento de un accionamiento eléctrico de manera más justificada. Esto crea la oportunidad de contribuir al desarrollo en el campo de la industria eléctrica, ya que se enfoca en conseguir conversiones de energías lo más eficientes posibles.

Thermo ED pretendía ser una herramienta altamente accesible para cualquier tipo de usuario que deseara analizar térmicamente un accionamiento eléctrico y con el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado, este objetivo se ha alcanzado.

### 6.2. Líneas futuras de trabajo

El empleo de Thermo ED posibilita las siguientes líneas futuras:

- **Análisis completo de la transferencia de calor en el accionamiento eléctrico:** A través de los valores de las temperaturas obtenidos, se podría realizar un análisis profundo de los fenómenos de la transferencia de calor y proponer mejoras para reducir las pérdidas de calor en el accionamiento eléctrico.

- **Analizar otras aplicaciones similares para otros sectores industriales:** Teniendo como referencia esta aplicación, se podrían analizar otras aplicaciones similares para otros sectores industriales como instalaciones eléctricas, instalaciones fotovoltaicas, automatización, ferroviarios, aeronáuticos, etc.
- **Desarrollo de modelos predictivos:** Se podrían desarrollar modelos predictivos que permitan avanzar futuros comportamientos de los accionamientos eléctricos atendiendo a las temperaturas obtenidas con Thermo ED (fallos incipientes, disimetrías, etc).
- **Analizar el uso de la aplicación Thermo ED para el diseño de las distintas partes de un accionamiento eléctrico (máquinas, convertidores, etc):** El empleo de Thermo ED puede ofrecer datos que permitan mejoras en el diseño térmico de los distintos componentes de un accionamiento eléctrico.
- **Mejorar la aplicación:** Se propone incluir más versiones de idiomas, buscar otras alternativas mejores para la delimitación de las zonas en el modo de selección por punto/s, implementación del autoajuste de la escala de la barra de color de temperaturas en la imagen y probar a crear esta aplicación empleando Python.

## Referencias

- [1] Our World In Data, “Electricity Mix.” <https://ourworldindata.org/electricity-mix>.
- [2] CWEC (Global Wind Energy Council), “Global wind report 2022.” <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>.
- [3] IEA (International Energy Agency), “Electric car sales 2022.” <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
- [4] G. Sulligoi, A. Vicenzutti, and R. Menis, “All-electric ship design: From electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 2, no. 4, pp. 507–521, 2016.
- [5] D. Ronanki, S. A. Singh, and S. S. Williamson, “Comprehensive topological overview of rolling stock architectures and recent trends in electric railway traction systems,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 3, no. 3, pp. 724–738, 2017.
- [6] J. Weimer, “The role of electric machines and drives in the more electric aircraft,” in *IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03.*, vol. 1, pp. 11–15 vol.1, 2003.
- [7] C. Attaianesi, V. Nardt, A. Perfetto, and G. Tomasso, “Vectorial torque control: a novel approach to torque and flux control of induction motor drives,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 35, no. 6, pp. 1399–1405, 1999.
- [8] J. Rodriguez, M. P. Kazmierkowski, J. R. Espinoza, P. Zanchetta, H. Abu-Rub, H. A. Young, and C. A. Rojas, “State of the art of finite control set model predictive control in power electronics,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 1003–1016, 2013.
- [9] O. Kryukov, D. Blagodarov, N. Dulnev, Y. Safonov, N. Fedortsov, and A. Kostin, “Intelligent control of electric machine drive systems,” in *2018 X International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*, pp. 1–4, 2018.
- [10] J. Schützhold and W. Hofmann, “Analysis of the temperature dependence of losses in electrical machines,” in *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 3159–3165, 2013.
- [11] S. Ali, A. Hanif, and Q. Ahmed, “Review in thermal effects on the performance of electric motors,” in *2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE)*, pp. 83–88, 2016.
- [12] F. A. Khalifa, S. Serry, M. M. Ismail, and B. Elhady, “Effect of temperature rise on the performance of induction motors,” in *2009 International Conference on Computer Engineering & Systems*, pp. 549–552, 2009.
- [13] W. Kirchgässner, O. Wallscheid, and J. Böcker, “Estimating electric motor temperatures with deep residual machine learning,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 7, pp. 7480–7488, 2021.

- 
- [14] M. J. Picazo-Ródenas, R. Royo, J. Antonino-Daviu, and J. Roger-Folch, “Use of infrared thermography for computation of heating curves and preliminary failure detection in induction motors,” in *2012 XXth International Conference on Electrical Machines*, pp. 525–531, 2012.
- [15] R. Alfredo Osornio-Rios, J. A. Antonino-Daviu, and R. de Jesus Romero-Troncoso, “Recent industrial applications of infrared thermography: A review,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 615–625, 2019.
- [16] Repsol, “Movilidad eléctrica: qué es y cuáles son sus ventajas.” <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/que-es-la-movilidad-electrica/>.
- [17] Á. González Prieto, I. González Prieto, M. J. Durán Martínez, and J. J. Aciego Gallardo, *Accionamientos eléctricos. Fundamentos, control y aplicaciones*. Ediciones Paraninfo, June 2022.
- [18] RACE, “Baterías de estado sólido: ¿cuándo llegan?.” <https://www.race.es/baterias-estado-solido-coche>, 2023.
- [19] Tesla, “Model 3.” [https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/es\\_es/](https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/es_es/).
- [20] Hyundai, “Vehicles.” <https://www.hyundai.com/worldwide/en/vehicles>.
- [21] Revista Tráfico y Seguridad Via, “Hidrógeno, el combustible del futuro — revista.dgt.es.” <https://revista.dgt.es/es/motor/reportajes/2018/0622-Coche-Hidrogeno.shtml>, 2018.
- [22] H. Li, X. Cao, Y. Liu, Y. Shao, Z. Nan, L. Teng, W. Peng, and J. Bian, “Safety of hydrogen storage and transportation: An overview on mechanisms, techniques, and challenges,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 6258–6269, 2022.
- [23] BMW España, “Encuentra tu bmw.” <https://www.bmw.es/es/coches-bmw.html>.
- [24] Kia. <https://www.kia.com/us/es>.
- [25] Volkswagen. <https://www.volkswagen.es/es.html>.
- [26] M. L. De Klerk and A. K. Saha, “A comprehensive review of advanced traction motor control techniques suitable for electric vehicle applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 125080–125108, 2021.
- [27] H. Vatanen, “Ten gigantic wind farms | Discover Cleantech.” <https://discovercleantech.com/ten-gigantic-wind-farms/>.
- [28] Interrail, “Tren ICE (InterCity Express).” <https://www.interrail.eu/es/plan-your-trip/tips-and-tricks/trains-europe/high-speed-trains/ice>.
- [29] Renfe, “Alta Velocidad.” <https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/sociedades/renfe-viajeros/viajeros-conocenos/alta-velocidad>.

- [30] J. Fraile Mora, *Maquinas electricas*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de Espana, 6<sup>a</sup> ed. ed., 2011 - 2008.
- [31] J. Gonzalez Perez, *Montaje y mantenimiento de maquinas electricas rotativas*. Antequera, Malaga: Innovacion y Cualificacion, 2012.
- [32] N. Baker, M. Liserre, L. Dupont, and Y. Avenas, “Improved reliability of power modules: A review of online junction temperature measurement methods,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 8, no. 3, pp. 17–27, 2014.
- [33] Y. Zhao and T. Lipo, “Space vector pwm control of dual three-phase induction machine using vector space decomposition,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 5, pp. 1100–1109, 1995.
- [34] I. Gonzalez-Prieto, M. J. Duran, J. J. Aciego, C. Martin, and F. Barrero, “Model predictive control of six-phase induction motor drives using virtual voltage vectors,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 27–37, 2018.
- [35] M. J. Durán, I. Gonzalez-Prieto, and A. Gonzalez-Prieto, “Large virtual voltage vectors for direct controllers in six-phase electric drives,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 125, p. 106425, 2021.
- [36] A. Boglietti, A. Cavagnino, D. Staton, M. Shanel, M. Mueller, and C. Mejuto, “Evolution and modern approaches for thermal analysis of electrical machines,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 3, pp. 871–882, 2009.
- [37] Y. A. Çengel, “Transferencia de calor y masa 6<sup>a</sup> ed,” 2020.
- [38] *Fundamentos de climatizacion : para instaladores e ingenieros recién titulados*. Madrid: Asociacion Tecnica Espanola de Climatizacion y Refrigeracion, 2<sup>a</sup> ed. rev. y actualizada con cambios reglamentarios ed., 2020.
- [39] K. Bersch, P. H. Connor, C. N. Eastwick, M. Galea, and R. Rolston, “Cfd optimisation of the thermal design for a vented electrical machine,” in *2017 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, pp. 39–44, 2017.
- [40] D. A. Staton and A. Cavagnino, “Convection heat transfer and flow calculations suitable for electric machines thermal models,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 10, pp. 3509–3516, 2008.
- [41] V. López Rodríguez, “Teoría de circuitos y electrónica,” 2013.
- [42] J. Nelson, G. Venkataramanan, and A. El-Refaie, “Fast thermal profiling of power semiconductor devices using fourier techniques,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 2, pp. 521–529, 2006.
- [43] MATLAB, “App designer.” <https://es.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>.



# ANEXOS



## A. Ficha técnica de la cámara termográfica Ti9

# FLUKE®

## Fluke Industrial/Commercial Thermal Imagers

Models: Ti25, Ti10 and Ti9

### Technical Data



High performance thermal imagers have never been this affordable. This rugged. Or, this easy to use ... until now.

The perfect tools to add to your problem solving arsenal. Built for tough work environments, these high-performance, fully radiometric imagers are ideal for troubleshooting electrical installations, electro-mechanical equipment, process equipment, HVAC/R equipment and others.

- The Fluke Ti10 and Ti25 thermal imagers come with enhanced problem detection and analysis capabilities with IR-Fusion® Technology. Simply scroll through the different viewing modes quickly to better identify trouble areas in Full IR thermal, picture-in-picture, or automatic blend visual and thermal images.
- Optimized for field use in harsh work environments
  - Engineered and tested to withstand a 2 m (6.5 ft) drop
  - Withstands dust and water—tested to an IP54 rating.
- Delivers the clear, crisp images needed to find problems fast.
- Identify even small temperature differences that could indicate problems with excellent thermal sensitivity (NETD).
- Intuitive, three-button menu is easy to use—simply navigate with the push of a thumb.
- No need to carry pen and paper—record findings by speaking into the camera. Voice comments are saved along with individual images for future reference (Ti25 only)



Industrial, mechanical, electromechanical and general building maintenance.



Process, refractory insulation, tank and vessel levels, steam systems and traps, pipes and valves, etc.



Electrical, unbalanced loads, overloaded systems, wiring mistakes or component failure, etc.



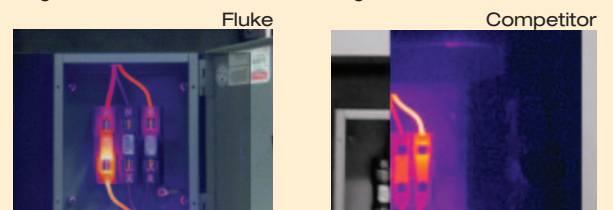
### Patented Fluke IR-Fusion® Technology

#### More than picture in picture

Infrared images alone can be difficult to understand, which is why Fluke pioneered IR-Fusion, a revolutionary marriage of visible and infrared images never before seen in commercial or industrial thermal imagers. Automatically capturing a visible image with every infrared image allows to you always know exactly what you're looking at.

#### Not all fusion is created equal

Don't be fooled by imitators. No other manufacturer can boast on-camera blending. Compare the images. Only Fluke has mastered the ability to create the industry's only transparent, perfectly blended and aligned visible and infrared images.



**Fluke.** Not just infrared, infrared you can use.®

Shop for Fluke products online at: [www.MyFlukeStore.com](http://www.MyFlukeStore.com) 1.888.610.7664

## Detailed specifications

	Ti25	Ti10	Ti9
<b>Temperature</b>			
Temperature measurement range (not calibrated below -10 °C)	-20 °C to +350 °C (-4 °F to +662 °F)	-20 °C to +250 °C (-4 °F to +482 °F)	-20 °C to +250 °C (-4 °F to +482 °F)
Temperature measurement accuracy	± 2 °C or 2 % (at 25 °C nominal, whichever is greater)		± 5 °C or 5 % (at 25 °C nominal, whichever is greater)
On-screen emissivity correction	Yes, and in software	In software only	
On-screen reflected background temperature compensation	Yes, and in software	In software only	
<b>Imaging performance</b>			
Image capture frequency	9 Hz refresh rate		
Detector type	160 X 120 Focal Plane Array, uncooled microbolometer		
Thermal sensitivity (NETD)	≤ 0.09 °C at 30 °C target temp. (90 mK)	≤ 0.13 °C at 30 °C target temp. (130 mK)	≤ 0.20 °C at 30 °C target temp. (200 mK)
Visual (visible light) camera	Industrial performance 1.3 megapixels		No visible camera
Minimum (visible light) focus distance	46 cm (approx. 18 in)		
Infrared field of view	23 ° x 17 °		
Spatial resolution (IFOV)	2.5 mRad		
Minimum infrared focus distance	15 cm (approx. 6 in)		
Focus mechanism	Manual, one-handed Smart Focus capability		
<b>Image presentation</b>			
Palettes			
Standard	Ironbow, Blue-Red, High Contrast, Amber, Hot Metal, Grayscale	Ironbow, Blue-Red, High Contrast, Grayscale	
Level and span	Smooth auto-scaling and manual scaling of level and span		
Fast auto toggle between manual and auto modes	Yes	—	
Fast auto-rescale in manual mode	Yes	—	
Minimum span (in manual mode)	2.5 °C (4.5 °F)	5 °C (9 °F)	
Minimum span (in auto mode)	5 °C (9 °F)	10 °C (18 °F)	
<b>IR-Fusion® information</b>			
Automatically aligned (parallax corrected) visual and IR blending	Yes		No IR-Fusion
Picture-In-Picture (PIP)	Three levels of on-screen IR blending displayed in center of LCD (AutoBlend)	100 % IR displayed in center of LCD	
Full screen infrared	Three levels of on-screen IR blending displayed on LCD (AutoBlend)	100 % IR displayed on LCD	
Voice annotation	60 seconds maximum recording time per image; reviewable playback on imager	—	—
<b>Image capture and data storage</b>			
	The Ti25 allows user to adjust palette, blending, level, span, IR-Fusion® mode, emissivity, and reflected background temperature compensation on a captured image before it is stored.	—	—
Image capture, review, save mechanism	One-handed image capture, review, and save capability		
Storage medium	SD Memory Card (2 GB memory card will store at least 1200 fully radiometric (.is2) IR and linked visual images each with 60 seconds voice annotations (when available), or 3000 basic bitmap (.bmp) images transferrable to PC via included multi-format USB card reader		
File formats	Non-radiometric (.bmp) or fully-radiometric (.is2) No analysis software required for non-radiometric bitmap (.bmp) files		
Export file formats w/SmartView® software	BMP, DIB, GIF, JPE, JFIF, JPEG, JPG, PNG, TIF, and TIFF		
Memory review	Sequential image navigation and review		

## General specifications

<b>Operating temperature</b>	-10 °C to +50 °C (14 °F to 122 °F)
<b>Storage temperature</b>	-20 °C to +50 °C (-4 °F to 122 °F) without batteries
<b>Relative humidity</b>	10 % to 95 % non-condensing
<b>Display</b>	9.1 cm (3.7 in) diagonal landscape color VGA (640 x 480) LCD with backlight and clear protective cover
<b>Controls and adjustments</b>	User selectable temperature scale (°C/°F) Language selection Time/Date set Emissivity selection (Ti25 only) Reflected background temperature compensation (Ti25 only) User selectable hot spot and cold spot, and center point on the image (Ti25 only) (other custom markers and shapes in SmartView® software) User selectable backlight: "Full Bright" or "Auto"
<b>Software</b>	SmartView® full analysis and reporting software included
<b>Batteries</b>	Internal rechargeable battery pack (included)
<b>Battery life</b>	Three to four hours continuous use (assumes 50 % brightness of LCD)
<b>Battery charge time</b>	2.5 hours to full charge
<b>AC battery charging</b>	AC adapter/charger (110 V ac to 220 V ac, 50/60 Hz) (included), charges battery while imager is operating or turned off, ac mains adapters included.
<b>AC operation</b>	AC operation with included power supply (110 V ac to 220 V ac, 50/60 Hz). AC mains adapters included.
<b>Power saving</b>	Sleep mode activated after five minutes of inactivity, automatic power off after 30 minutes of inactivity
<b>Safety standards</b>	CSA (US and CAN): C22.2 No. 61010-1-04, UL: UL STD 61010-1 (2nd Edition), ISA: 82.02.01
<b>Electromagnetic compatibility</b>	Meets all applicable requirements in EN61326-1:2006
<b>C Tick</b>	IEC/EN 61326-1
<b>US FCC</b>	CFR 47, Part 15 Class B
<b>Vibration</b>	0.03 g2/Hz (3.8 grms), IEC 68-2-6
<b>Shock</b>	25 g, IEC 68-2-29
<b>Drop</b>	2 meter (6.5 feet)
<b>Size (H x W x L)</b>	26.7 cm x 12.7 cm x 15.2 cm (10.5 in x 5.0 in x 6.0 in)
<b>Weight (battery included)</b>	1.2 kg (2.6 lb)
<b>Enclosure rating</b>	IP54 (protected against dust, limited ingress; protection against water spray from all directions)
<b>Warranty</b>	Two-years (standard)
<b>Recommended calibration cycle</b>	Two-years (assumes normal operation and normal wear)
<b>Supported Languages</b>	Czech, English, Finnish, French, German, Italian, Japanese, Korean, Polish, Portuguese, Russian, Simplified Chinese, Spanish, Swedish, Traditional Chinese, and Turkish

## Ordering information

**FLK-Ti25 9Hz** Thermal Imager

**FLK-Ti10 9Hz** Thermal Imager

**FLK-Ti9 9Hz** Thermal Imager

### Included

Thermal imager, ac power supply/battery charger (including mains adapters); SD memory card; multi-format USB memory card reader for downloading images into your computer; SmartView® software with free software upgrades for life; rugged, hard carrying case; soft transport bag; adjustable hand strap; printed users manual; warranty registration card.

### Optional accessories

**TI-CAR-CHARGER** Thermal Imager Vehicle Charger

**TI-VISOR** Thermal Imager Visor

**BOOK-ITP** Introduction to Thermography Principles Book

**TI-TRIPOD** Tripod Mounting Base Accessory



**Fluke. Not just infrared.**  
*Infrared you can use.™*

**Fluke Corporation**  
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

**Fluke Europe B.V.**  
PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, The Netherlands

**For more information call:**  
In the U.S.A. (800) 443-5853 or  
Fax (425) 446-5116  
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or  
Fax +31 (0) 40 2675 222  
In Canada (800)-36-FLUKE or  
Fax (905) 890-6866  
From other countries +1 (425) 446-5500 or  
Fax +1 (425) 446-5116  
Web access: <http://www.fluke.com>

©2009-2011 Fluke Corporation.  
Specifications subject to change without notice.  
Printed in U.S.A. 7/2011 3467124G D-EN-N

**Modification of this document is not permitted**



## **B. Fichero de códigos de programación de Thermo ED**

```
1 classdef ThermoED_code < matlab.apps.AppBase
2
3     % Properties that correspond to app components
4     properties (Access = public)
5         ThermoEDUIFigure      matlab.ui.Figure
6         IMPORTARDATOSButton    matlab.ui.control.Button
7         Instruction            matlab.ui.control.Label
8         NumInterp              matlab.ui.control.NumericEditField
9         MostImDat              matlab.ui.control.Button
10        ModoSel                 matlab.ui.control.DropDown
11        Tolerancia              matlab.ui.control.NumericEditField
12        Tselmed                  matlab.ui.control.NumericEditField
13        Tselmin                  matlab.ui.control.NumericEditField
14        Tselmax                  matlab.ui.control.NumericEditField
15        InfoDatosSel            matlab.ui.control.Label
16        ModoInstruc             matlab.ui.control.Label
17        Disp                     matlab.ui.control.DropDown
18        siono                    matlab.ui.control.DropDown
19        EliminarZonas            matlab.ui.control.Label
20        Porcadazona              matlab.ui.control.TextArea
21        Restart                  matlab.ui.control.Button
22        Tmaqmed                  matlab.ui.control.NumericEditField
23        Tmaqmin                  matlab.ui.control.NumericEditField
24        Tmaqmax                  matlab.ui.control.NumericEditField
25        ButtonESP                matlab.ui.control.Button
26        ButtonENG                matlab.ui.control.Button
27        ButtonKOR                matlab.ui.control.Button
28        ESPAOLLabel              matlab.ui.control.Label
29        KORLabel                  matlab.ui.control.Label
30        ENGLISHLabel              matlab.ui.control.Label
31        DispLabel                  matlab.ui.control.Label
32        NumInterpLabel            matlab.ui.control.Label
33        ModoSelLabel              matlab.ui.control.Label
34        sionoLabel                  matlab.ui.control.Label
35        ToleranciaLabel            matlab.ui.control.Label
36        TselmedLabel              matlab.ui.control.Label
37        TselminLabel              matlab.ui.control.Label
38        TselmaxLabel              matlab.ui.control.Label
39        TmaqmedLabel              matlab.ui.control.Label
40        TmaqminLabel              matlab.ui.control.Label
41        TmaqmaxLabel              matlab.ui.control.Label
42        PorcadazonaLabel          matlab.ui.control.Label
43    end
44
45
46    properties (Access = private)
47        MT=0; % Descripción
48    end
49
50
51    % Callbacks that handle component events
52    methods (Access = private)
53
54        % Code that executes after component creation
55        function startupFcn(app)
56
57            clearAllMemoizedCaches % Borrar toda las memorias cachés
58            close % Cerrar las ventanas de la figura
```

```
59
60     app.MostImDat.Enable='on';
61     app.Tselmin.Enable='on';
62     app.Tselmed.Visible='on';
63     app.Tselmax.Visible='on';
64     app.TselmedLabel.Visible='on';
65     app.TselmaxLabel.Visible='on';
66     app.NumInterp.Enable='on';
67     app.Tolerancia.Enable='on';
68     app.ModoSel.Enable='on';
69     app.IMPORTARDATOSButton.BackgroundColor='#F55E21';
70     app.IMPORTARDATOSButton.Enable='on';
71     app.ModoInstruc.Text='';
72     app.EliminarZonas.Text='';
73     app.Tolerancia.Value=0;
74     app.NumInterp.Value=0;
75     app.Tselmin.Value=0;
76     app.Tselmed.Value=0;
77     app.Tselmax.Value=0;
78     app.Tmaqmed.Value=0;
79     app.Tmaqmin.Value=0;
80     app.Tmaqmax.Value=0;
81     app.Porcadazona.Value='';
82 end
83
84 % Button pushed function: ButtonESP
85 function ButtonESPushed(app, event)
86     app.Instruction.Text='Pulse el botón "IMPORTAR DATOS" y seleccione
el archivo de los datos de la imagen que desee visualizar';
87     app.IMPORTARDATOSButton.Text='IMPORTAR DATOS';
88     app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen e información de los datos
seleccionados';
89     app.InfoDatosSel.Text='INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS';
90     app.DispLabel.Text='¿A qué componente corresponde la imagen que
desea visualizar?';
91     app.Disp.Items={'Seleccione','Máquina Eléctrica','Máquina de
CC','Convertidor de Potencia','Fuente de CC','Resistencias añadidas al estátor'};
92     app.NumInterpLabel.Text='Número de interpolaciones en los datos de
la imagen';
93     app.ModoSelLabel.Text='Modo de selección de datos';
94     app.ModoSel.Items={'Seleccione','Punto/s','Zona cuadrada',};
95     app.sionoLabel.Text='¿Desea eliminar las zonas que no pertenezcan
al dispositivo?';
96     app.siono.Items={'Seleccione','Si','No'};
97     app.ToleranciaLabel.Text='Establecer el valor de la tolerancia
para marcar la zona/s (°C)';
98     app.Restart.Text='REINICIAR LA APP';
99     app.TselmedLabel.Text='Temperatura media de la zona seleccionada o
puntos seleccionados (°C)';
100     app.TselminLabel.Text='Temperatura mínima de la zona seleccionada
o puntos seleccionados (°C)';
101     app.TselmaxLabel.Text='Temperatura máxima de la zona seleccionada
o puntos seleccionados (°C)';
102     app.TmaqmedLabel.Text='Temperatura media del componente elegido
(°C)';
103     app.TmaqminLabel.Text='Temperatura mínima del componente elegido
(°C)';
104     app.TmaqmaxLabel.Text='Temperatura máxima del componente elegido
(°C)';
```

```
(°C)';
105         app.PorcadazonaLabel.Text='Por cada zona';
106         app.ModoInstruc.Text='';
107         app.EliminarZonas.Text='';
108         app.Disp.Value='Seleccione';
109         app.ModoSel.Value='Seleccione';
110         app.siono.Value='Seleccione';
111         app.ModoSel.Enable='on';
112         app.siono.Enable='on';
113         app.Tselmin.Enable='on';
114         app.Tselmed.Visible='on';
115         app.Tselmax.Visible='on';
116     end
117
118     % Button pushed function: ButtonENG
119     function ButtonENGPushed(app, event)
120         app.Instruction.Text='Push the button "IMPORT DATA" and select the
datas file of the image you want to see';
121         app.IMPORTARDATOSButton.Text='IMPORT DATA';
122         app.MostImDat.Text='Show the image and the information of the
selected datas';
123         app.InfoDatosSel.Text='INFORMATION OF THE SELECTED DATAS';
124         app.DispLabel.Text='To which component corresponds to the image
you want to display?';
125         app.Disp.Items={'Select','Electric Machine','DC Machine','Power
Converter','DC Source','Resistors added to the stator'};
126         app.NumInterpLabel.Text='Number of interpolations in the image
datas';
127         app.ModoSelLabel.Text='Mode of data selection';
128         app.ModoSel.Items={'Select','Point/s','Square zone'};
129         app.sionoLabel.Text='¿Do you want remove the zones not belong to
the device?';
130         app.siono.Items={'Select','Yes','No'};
131         app.ToleranciaLabel.Text='Set tolerance value for marking the
zone/s (°C)';
132         app.Restart.Text='RESTART THE APP';
133         app.TselmedLabel.Text='Average temperature of the selected zone or
selected points (°C)';
134         app.TselminLabel.Text='Minimum temperature of the selected zone or
selected points (°C)';
135         app.TselmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected zone or
selected points (°C)';
136         app.TmaqmedLabel.Text='Average temperature of the selected
component (°C)';
137         app.TmaqminLabel.Text='Minimum temperature of the selected
component (°C)';
138         app.TmaqmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected
component (°C)';
139         app.PorcadazonaLabel.Text='For each zone';
140         app.Disp.Value='Select';
141         app.ModoSel.Value='Select';
142         app.siono.Value='Select';
143         app.ModoInstruc.Text='';
144         app.EliminarZonas.Text='';
145         app.ModoSel.Enable='on';
146         app.siono.Enable='on';
147         app.Tselmin.Enable='on';
148         app.Tselmed.Visible='on';
```

```
149         app.Tselmax.Visible='on';
150     end
151
152     % Button pushed function: ButtonKOR
153     function ButtonKORPushed(app, event)
154         app.Instruction.Text='''데이터 불러오기'' 버튼을 누르시고, 보기 원하시는 이
155         이미지의 데이터 파일을 선택하세요';
156         app.IMPORTARDATOSButton.Text='데이터 불러오기';
157         app.MostImDat.Text='''이미지 및 선택한 데이터 정보 보기'';
158         app.InfoDatosSel.Text='''선택한 데이터 정보 보기'';
159         app.DispLabel.Text='''표시하려는 이미지가 어떤 부품에 해당되나요?'';
160         app.Disp.Items={'''선택하세요'', ''전기 기계'', ''직류전동기'', ''전력변환기'', ''직류
161         전원 공급기'', ''고정자에 추가된 저항기''};
162         app.NumInterpLabel.Text='''이미지 데이터의 보간 횟수'';
163         app.ModoSelLabel.Text='''데이터 선택 방식'';
164         app.ModoSel.Items={'''선택하세요'', ''포인트'', ''정사각형 영역''};
165         app.sionoLabel.Text=''';장치가 아닌 영역들을 제외 하시겠습니까?'';
166         app.siono.Items={'''선택하세요'', ''예'', ''아니요''};
167         app.ToleranciaLabel.Text='''영역 표시를 위한 허용 오차 값을 설정하세요
168         (°C)'';
169         app.Restart.Text='''앱 다시 시작하기'';
170         app.TselmedLabel.Text='''선택된 영역의 평균 온도 / 선택된 포인트들의 평균
171         온도 (°C)'';
172         app.TselminLabel.Text='''선택된 영역의 최저 온도 / 선택된 포인트들의 최저
173         온도 (°C)'';
174         app.TselmaxLabel.Text='''선택된 영역의 최고 온도 / 선택된 포인트들의 최고
175         온도 (°C)'';
176         app.TmaqmedLabel.Text='''선택된 부품의 평균 온도 (°C)'';
177         app.TmaqminLabel.Text='''선택된 부품의 최저 온도 (°C)'';
178         app.TmaqmaxLabel.Text='''선택된 부품의 최고 온도 (°C)'';
179         app.PorcadazonaLabel.Text='''각 영역별'';
180         app.ModoInstruc.Text=''';
181         app.EliminarZonas.Text=''';
182         app.Disp.Value='''선택하세요'';
183         app.ModoSel.Value='''선택하세요'';
184         app.siono.Value='''선택하세요'';
185         app.ModoSel.Enable='''on'';
186         app.siono.Enable='''on'';
187         app.Tselmin.Enable='''on'';
188         app.Tselmed.Visible='''on'';
189         app.Tselmax.Visible='''on'';
190     end
191
192     % Button pushed function: IMPORTARDATOSButton
193     function IMPORTARDATOSButtonPushed(app, event)
194         filename=uigetfile('*.txt'); % Cargar datos de temperatura
195
196         if filename ~= 0
197             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, ''INFORMACIÓN DE LOS DATOS
198             SELECCIONADOS'')
199                 app.IMPORTARDATOSButton.Text='''IMPORTADO'';
200             end
201             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, ''INFORMATION OF THE SELECTED
202             DATAS'')
203                 app.IMPORTARDATOSButton.Text='''IMPORTED'';
204             end
205             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, ''선택한 데이터 정보 보기'')
206                 app.IMPORTARDATOSButton.Text='''데이터 불러오기 완료'';
```

```
199         end
200         app.IMPORTARDATOSButton.BackgroundColor='#a3b1bc';
201         app.IMPORTARDATOSButton.Enable='off';
202         app.Instruction.Text='';
203         data=readtable(filename); % Leer los datos en tablas
204         data(1,:)=[]; % Eliminar la primera fila de los datos
205         data(:,1)=[]; % Eliminar la primera columna de los datos
206         M=table2array(data); % Pasar el formato de tabla a array
207         MF=str2double(strrep(M, ',', '.')); % Pasar el array de string
a array de números
208         app.MT=5/9*(MF-32); % Datos de temperatura en grados Celsius
209     end
210 end
211
212 % Value changed function: Disp
213 function DispValueChanged(app, event)
214     value = app.Disp.Value;
215     if strcmp(value, 'Máquina Eléctrica') || strcmp(value, 'Electric
Machine') || strcmp(value, '전기 기계')
216         if strcmp(value, 'Máquina Eléctrica')
217             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen de la MÁQUINA
ELÉCTRICA e información de los datos seleccionados';
218         end
219         if strcmp(value, 'Electric Machine')
220             app.MostImDat.Text='Show the image of ELECTRIC MACHINE and
the information of the selected datas';
221         end
222         if strcmp(value, '전기 기계')
223             app.MostImDat.Text='전자 기계의 이미지 및 선택한 데이터 정보 보
기';
224         end
225     end
226     if strcmp(value, 'Máquina de CC') || strcmp(value, 'DC Machine') ||
strcmp(value, '직류전동기')
227         if strcmp(value, 'Máquina de CC')
228             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen de la MÁQUINA DE CC
e información de los datos seleccionados';
229         end
230         if strcmp(value, 'DC Machine')
231             app.MostImDat.Text='Show the image of DC MACHINE and the
information of the selected datas';
232         end
233         if strcmp(value, '직류전동기')
234             app.MostImDat.Text='직류전동기의 이미지 및 선택한 데이터 정보 보
기';
235         end
236     end
237     if strcmp(value, 'Convertidor de Potencia') || strcmp(value, 'Power
Converter') || strcmp(value, '전력변환기')
238         if strcmp(value, 'Convertidor de Potencia')
239             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen del CONVERTIDOR DE
POTENCIA e información de los datos seleccionados';
240         end
241         if strcmp(value, 'Power Converter')
242             app.MostImDat.Text='Show the image of POWER CONVERTER and
the information of the selected datas';
243         end
244         if strcmp(value, '직류변환기')
```

```
245             app.MostImDat.Text= '직류변환기의 이미지 및 선택한 데이터 정보 보기';
246         end
247     end
248     if strcmp(value, 'Fuente de CC') || strcmp(value, 'DC Source') || strcmp(value, '직류 전원 공급기')
249         if strcmp(value, 'Fuente de CC')
250             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen de la FUENTE DE CC e información de los datos seleccionados';
251         end
252         if strcmp(value, 'DC Source')
253             app.MostImDat.Text='Show the image of DC SOURCE and the information of the selected datas';
254         end
255         if strcmp(value, '직류 전원 공급기')
256             app.MostImDat.Text='직류 전원 공급기의 이미지 및 선택한 데이터 정보 보기';
257         end
258     end
259     end
260     if strcmp(value, 'Resistencias añadidas al estátor') || strcmp(value, 'Resistors added to the stator') || strcmp(value, '고정자에 추가된 저항기')
261         if strcmp(value, 'Resistencias añadidas al estátor')
262             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen de las RESISTENCIAS AÑADIDAS AL ESTÁTOR e información de los datos seleccionados';
263         end
264         if strcmp(value, 'Resistors added to the stator')
265             app.MostImDat.Text='Show the image of RESISTORS ADDED TO THE STATOR and the information of the selected datas';
266         end
267         if strcmp(value, '고정자에 추가된 저항기')
268             app.MostImDat.Text='고정자에 추가된 저항기의 이미지 및 선택한 데이터 정보 보기';
269         end
270     end
271 end
272
273 % Value changed function: ModoSel
274 function ModoSelValueChanged(app, event)
275     if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Zona cuadrada')
276         app.ModoInstruc.Text='Modo de selección de datos elegido: Zona cuadrada. Haga DOBLE CLICK una vez que haya elegido la zona para visualizar toda la información.';
277         app.siono.Enable='off';
278         app.siono.Value='No';
279         app.Tolerancia.Enable='off';
280         app.Tolerancia.Value=1;
281         app.Tmaqmed.Enable='off';
282         app.TselmedLabel.Text='Temperatura media de la zona seleccionada (°C)';
283         app.Tmaqmin.Enable='off';
284         app.TselminLabel.Text='Temperatura mínima de la zona seleccionada (°C)';
285         app.Tmaqmax.Enable='off';
286         app.TselmaxLabel.Text='Temperatura máxima de la zona seleccionada (°C)';
287     end
288 end
```

```
289         if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Square zone')
290             app.ModoInstruc.Text='Choosed of data selection mode: Square
zone. Do DOBLE CLICK when you have finished choosing the zone to see all
information.';
291             app.siono.Enable='off';
292             app.siono.Value='No';
293             app.Tolerancia.Enable='off';
294             app.Tolerancia.Value=1;
295             app.Tmaqmed.Enable='off';
296             app.TselmedLabel.Text='Average temperature of the selected
zone (°C)';
297             app.Tmaqmin.Enable='off';
298             app.TselminLabel.Text='Minimum temperature of the selected
zone (°C)';
299             app.Tmaqmax.Enable='off';
300             app.TselmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected
zone (°C)';
301         end
302
303         if strcmp(app.ModoSel.Value, '정사각형 영역')
304             app.ModoInstruc.Text='선택하신 데이터 선택 모드: 정사각형 영역. 영역
선택이 끝나시면 모든 정보를 보실 수 있게 더블클릭해주세요.';
305             app.siono.Enable='off';
306             app.siono.Value='아니요';
307             app.Tolerancia.Enable='off';
308             app.Tolerancia.Value=1;
309             app.Tmaqmed.Enable='off';
310             app.TselmedLabel.Text='선택된 영역의 평균 온도 (°C)';
311             app.Tmaqmin.Enable='off';
312             app.TselminLabel.Text='선택된 영역의 최저 온도 (°C)';
313             app.Tmaqmax.Enable='off';
314             app.TselmaxLabel.Text='선택된 영역의 최고 온도 (°C)';
315         end
316
317         if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Punto/s')
318             app.ModoInstruc.Text='Modo de selección de datos elegido:
Punto/s. Pulse ENTER una vez que haya seleccionado todos los puntos para visualizar
toda la información.';
319             app.siono.Enable='on';
320             app.siono.Value='Seleccione';
321             app.Tolerancia.Value=0;
322             app.Tolerancia.Enable='on';
323             app.Tmaqmed.Enable='on';
324             app.Tmaqmin.Enable='on';
325             app.Tmaqmax.Enable='on';
326             app.TselmedLabel.Text='Temperatura media de los puntos
seleccionados (°C)';
327             app.TselminLabel.Text='Temperatura mínima de los puntos
seleccionados (°C)';
328             app.TselmaxLabel.Text='Temperatura máxima de los puntos
seleccionados (°C)';
329         end
330
331         if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Point/s')
332             app.ModoInstruc.Text='Choosed of data selection mode: Point/s.
Push ENTER when you have finished selecting all of points to see all information.';
333             app.siono.Enable='on';
334             app.siono.Value='Select';
```

```
335         app.Tolerancia.Value=0;
336         app.Tolerancia.Enable='on';
337         app.Tmaqmed.Enable='on';
338         app.Tmaqmin.Enable='on';
339         app.Tmaqmax.Enable='on';
340         app.TselmedLabel.Text='Average temperature of the selected
points (°C)';
341         app.TselminLabel.Text='Minimum temperature of the selected
points (°C)';
342         app.TselmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected
points (°C)';
343     end
344
345     if strcmp(app.ModoSel.Value, '포인트')
346         app.ModoInstruc.Text='선택하신 데이터 선택 모드: 포인트. 모든 포인트
선택이 끝나시면 모든 정보를 보실 수 있게 ENTER를 눌러주세요.';
347         app.siono.Enable='on';
348         app.siono.Value='선택하세요';
349         app.Tolerancia.Value=0;
350         app.Tolerancia.Enable='on';
351         app.Tmaqmed.Enable='on';
352         app.Tmaqmin.Enable='on';
353         app.Tmaqmax.Enable='on';
354         app.TselmedLabel.Text='선택된 포인트들의 평균 온도 (°C)';
355         app.TselminLabel.Text='선택된 포인트들의 최저 온도 (°C)';
356         app.TselmaxLabel.Text='선택된 포인트들의 최고 온도 (°C)';
357     end
358
359 end
360
361 % Value changed function: siono
362 function sionoValueChanged(app, event)
363
364     if strcmp(app.siono.Value, 'Sí')
365         app.EliminarZonas.Text='Las zonas que desean eliminar
aparecerán delimitados por líneas blancas. Una vez eliminado las zonas, pulse ENTER
para continuar y elegir puntos de temperatura.';
366     end
367
368     if strcmp(app.siono.Value, 'Yes')
369         app.EliminarZonas.Text='The zones you want to remove it
appears delimited for white lines. When you have finished removing the zones, push
ENTER for continue and choose temperature points.';
370     end
371
372     if strcmp(app.siono.Value, '예')
373         app.EliminarZonas.Text='제외하실 영역들이 흰색선으로 표시될겁니다. 영
역을 제외가 끝나시고 ENTER를 누르시면 온도의 포인트 선택이 가능합니다.';
374     end
375
376     if strcmp(app.siono.Value, 'No') || strcmp(app.siono.Value, '아니요')
377         app.EliminarZonas.Text='';
378         if strcmp(app.siono.Value, 'No')
379             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS
SELECCIONADOS')
380                 app.TmaqmedLabel.Text='Temperatura media de la imagen
térmica (°C)';
381                 app.TmaqminLabel.Text='Temperatura mínima de la imagen
```

```
térmica (°C)';
382             app.TmaqmaxLabel.Text='Temperatura máxima de la imagen'
térmica (°C)';
383             end
384             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'INFORMATION OF THE
SELECTED DATAS')
385                 app.TmaqmedLabel.Text='Average temperature of the
thermal image (°C)';
386                 app.TmaqminLabel.Text='Minimum temperature of the
thermal image (°C)';
387                 app.TmaqmaxLabel.Text='Maximum temperature of the
thermal image (°C)';
388             end
389         end
390         if strcmp(app.siono.Value,'아니요')
391             app.TmaqmedLabel.Text='열화상 이미지의 평균 온도 (°C)';
392             app.TmaqminLabel.Text='열화상 이미지의 최저 온도 (°C)';
393             app.TmaqmaxLabel.Text='열화상 이미지의 최고 온도 (°C)';
394         end
395     end
396 end
397
398 % Button pushed function: MostImDat
399 function MostImDatPushed(app, event)
400     n_int=app.NumInterp.Value; % Número de interpolaciones en los
datos
401     if ((n_int < 1) || (n_int > 5)) || strcmp(app.ModoSel.
Value,'Seleccione') || strcmp(app.Disp.Value,'Seleccione') || strcmp(app.siono.
Value,'Seleccione') || strcmp(app.IMPORTARDATOSButton.Text,'IMPORTAR DATOS') ||
(abs(app.Tolerancia.Value) == 0) || strcmp(app.ModoSel.Value,'Select') || strcmp
(app.Disp.Value,'Select') || strcmp(app.siono.Value,'Select') || strcmp(app.
IMPORTARDATOSButton.Text,'IMPORT DATA') || strcmp(app.ModoSel.Value,'선택하세요') ||
strcmp(app.Disp.Value,'선택하세요') || strcmp(app.siono.Value,'선택하세요') || strcmp
(app.IMPORTARDATOSButton.Text,'데이터 불러오기')
402         if (n_int < 1) || (n_int > 5)
403             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'INFORMACIÓN DE LOS DATOS
SELECCIONADOS')
404                 errordlg('El valor del número de interpolación debe
ser entre 1 y 5.','Error')
405             end
406             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'INFORMATION OF THE
SELECTED DATAS')
407                 errordlg('The value of the number of interpolation
must be between 1 and 5.','Error')
408             end
409             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'선택한 데이터 정보 보기')
410                 errordlg('보간 횟수의 값은 1에서 5 사이여야 합니
다.','Error')
411             end
412         end
413         if strcmp(app.ModoSel.Value,'Seleccione') || strcmp(app.Disp.
Value,'Seleccione') || strcmp(app.siono.Value,'Seleccione')
414             errordlg('Termine de seleccionar todas las
opciones.','Error')
415         end
416         if strcmp(app.ModoSel.Value,'Select') || strcmp(app.Disp.
Value,'Select') || strcmp(app.siono.Value,'Select')
417             errordlg('Finish selecting all options.','Error')
```

```
418         end
419         if strcmp(app.ModoSel.Value, '선택하세요') || strcmp(app.Disp.
Value, '선택하세요') || strcmp(app.siono.Value, '선택하세요')
420             errordlg('모든 옵션을 선택해주세요.', 'Error')
421         end
422         if strcmp(app.IMPORTARDATOSButton.Text, 'IMPORTAR DATOS')
423             errordlg('Importe los datos de la imagen que desea
visualizar.', 'Error')
424         end
425         if strcmp(app.IMPORTARDATOSButton.Text, 'IMPORT DATA')
426             errordlg('Import the data you want to see.', 'Error')
427         end
428         if strcmp(app.IMPORTARDATOSButton.Text, '데이터 불러오기')
429             errordlg('보기 원하시는 이미지의 데이터 불러오기를 실행해주세
요.', 'Error')
430         end
431         if abs(app.Tolerancia.Value) == 0
432             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS
SELECCIONADOS')
433                 errordlg('Debe establecer algún valor de la tolerancia
mayor que 0.', 'Error')
434             end
435             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMATION OF THE
SELECTED DATAS')
436                 errordlg('You must set some value of the tolerance
over than 0.', 'Error')
437             end
438             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, '선택한 데이터 정보 보기')
439                 errordlg('허용 오차 값이 0 이상이어야 합니다.', 'Error')
440             end
441         end
442     else
443         app.MostImDat.Enable='off';
444         app.NumInterp.Enable='off';
445         app.Tolerancia.Enable='off';
446         tol=abs(app.Tolerancia.Value); % Valor de la tolerancia
447         MT_n=interp2(app.MT,n_int); % Datos interpolados
448         MT_maq=MT_n; % Datos en el caso de que se elimine las zonas
innecesarias
449         figure('Name','Thermal Image','NumberTitle','off')
450         imagesc(MT_n); % Mostrar la imagen
451         c=colorbar;
452         c.Label.FontSize = 12;
453         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS
SELECCIONADOS')
454             title('Imagen térmica del componente')
455             c.Label.String = 'Temperatura (°C)';
456         end
457         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMATION OF THE SELECTED
DATAS')
458             title('Thermal image of the component')
459             c.Label.String = 'Temperature (°C)';
460         end
461         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, '선택한 데이터 정보 보기')
462             title('부품의 열화상 이미지')
463             c.Label.String = '온도 (°C)';
464         end
465         hold on;
```

```
466
467         if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Zona cuadrada') || strcmp(app.
ModoSel.Value, 'Square zone') || strcmp(app.ModoSel.Value, '정사각형 영역')
468             app.siono.Editable='off';
469             T_sel=imcrop();
470             T_sel_media=mean(T_sel, 'all'); % Temperatura media
471             T_sel_max=max(max(T_sel)); % Temperatura máxima
472             T_sel_min=min(min(T_sel)); % Temperatura mínima
473             app.Tselmed.Value=T_sel_media;
474             app.Tselmin.Value=T_sel_min;
475             app.Tselmax.Value=T_sel_max;
476         end
477
478         if strcmp(app.ModoSel.Value, 'Punto/s') || strcmp(app.ModoSel.
Value, 'Point/s') || strcmp(app.ModoSel.Value, '포인트')
479
480             if strcmp(app.siono.Value, 'Sí') || strcmp(app.siono.
Value, 'Yes') || strcmp(app.siono.Value, '예')
481
482                 [x,y,T_sel]=impixel; % Habilita la opción de
seleccionar con el ratón diferentes puntos
483                 n=2; % Variable para completar todas las coordenadas
de la región de cada punto seleccionado
484
485                 [fila,col]=size(MT_n); % Datos de la dimensión de la
matriz
486
487                 % Representar los puntos de temperaturas seleccionados
488
489                 for h=1:length(x)
490                     plot(x(h),y(h), 'r.', 'Markersize', 15);
491                 end
492
493                 T_sel(:,3)=[]; % Eliminar la columna 3
494                 T_sel(:,2)=[]; % Eliminar la columna 2
495
496                 % % Búsqueda de las zonas
497                 for c=1:length(T_sel)
498
499
500                     % Tolerancia +- grados C
501                     mi=T_sel(c)-tol;
502                     ms=T_sel(c)+tol;
503
504                     % Variables iniciales para la búsqueda de regiones
505                     x_left=x(c);
506                     x_right=x(c)+1;
507                     y_down=y(c);
508                     y_up=y(c)-1;
509                     f_dl=false;
510                     f_dr=false;
511                     f_ul=false;
512                     f_ur=false;
513                     c_dl=false;
514                     c_dr=false;
515                     c_ul=false;
516                     c_ur=false;
517                     r=1;
```

```
518
519                                     %% Búsqueda en dirección down-left
520 while (f_dl==false) || (x_left >= 1)
521     while (y_down <= fila) || (c_dl==false)
522         if (MT_n(y_down,x_left) >= mi) && (MT_n(y_down,x_left) <= ms)
523             if y_down == fila
524                 c_dl=true;
525                 reg_x(r)=x_left;
526                 reg_y(r)=y_down;
527                 r=r+1;
528                 x(c,n)=x_left;
529                 y(c,n)=y_down;
530                 n=n+1;
531                 y_dl_act=y_down+1;
532                 y_down=fila+1;
533             else
534                 x(c,n)=x_left;
535                 y(c,n)=y_down;
536                 n=n+1;
537                 y_down=y_down+1;
538             end
539         else
540             c_dl=true;
541             if y_down == y(c)
542                 reg_x(r)=x_left;
543                 reg_y(r)=y_down;
544                 r=r+1;
545                 x(c,n)=x_left;
546                 y(c,n)=y_down;
547                 n=n+1;
548                 y_dl_act=fila;
549                 y_down=fila+1;
550             else
551                 reg_x(r)=x_left;
552                 reg_y(r)=y_down-1;
553                 r=r+1;
554                 x(c,n)=x_left;
555                 y(c,n)=y_down-1;
556                 n=n+1;
557                 y_dl_act=y_down;
558                 y_down=fila+1;
559             end
560         end
561     end
562 end
563
564 if y_dl_act == fila+1
565     c_dl=false;
566 end
567
568 if (x_left == 1) || (y_dl_act == fila)
569     f_dl=true;
570     c_dl=true;
571     x_left=0;
572 else
573     y_down=y(c);
574     x_left=x_left-1;
```

```
575         end
576     end
577
578     plot(reg_x,reg_y, 'wx', 'Markersize',2);
579
580     % Para unir los puntos de la región
581     for p=1:length(reg_y)-1
582         diff_dl=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
583         if diff_dl > 1
584             if reg_y(p) > reg_y(p+1)
585                 t=reg_y(p)-1;
586                 while t > reg_y(p+1)
587                     plot(reg_x(p)-1, ←
t, 'wx', 'Markersize',2);
588                         x(c,n)=reg_x(p)-1;
589                         y(c,n)=t;
590                         n=n+1;
591                         t=t-1;
592                     end
593                 end
594
595                 if reg_y(p) < reg_y(p+1)
596                     t=reg_y(p)+1;
597                     while t < reg_y(p+1)
598                         plot(reg_x(p)-1, ←
t, 'wx', 'Markersize',2);
599                         x(c,n)=reg_x(p)-1;
600                         y(c,n)=t;
601                         n=n+1;
602                         t=t+1;
603                     end
604                 end
605             end
606         end
607     rxf_dl=reg_x(length(reg_x));
608     ryf_dl=reg_y(length(reg_y));
609     rxf_dld=reg_x(1);
610     ryf_dld=reg_y(1);
611
612     % % Búsqueda en dirección down-right
613     reg_x=[];
614     reg_y=[];
615     r=1;
616     y_down=y(c);
617     while (f_dr==false) || (x_right <= col)
618         while (y_down <= fila) || (c_dr==false)
619             if (MT_n(y_down,x_right) >= mi) && (MT_n ←
(y_down,x_right) <= ms)
620                 if y_down == fila
621                     c_dr=true;
622                     reg_x(r)=x_right;
623                     reg_y(r)=y_down;
624                     r=r+1;
625                     x(c,n)=x_right;
626                     y(c,n)=y_down;
627                     n=n+1;
628                     y_dr_act=y_down+1;
629                     y_down=fila+1;
```

```
630         else
631             x(c,n)=x_right;
632             y(c,n)=y_down;
633             n=n+1;
634             y_down=y_down+1;
635         end
636     else
637         c_dr=true;
638         if y_down == y(c)
639             reg_x(r)=x_right;
640             reg_y(r)=y(c);
641             r=r+1;
642             x(c,n)=x_right;
643             y(c,n)=y_down;
644             n=n+1;
645             y_dr_act=fila;
646             y_down=fila+1;
647         else
648             reg_x(r)=x_right;
649             reg_y(r)=y_down-1;
650             r=r+1;
651             x(c,n)=x_right;
652             y(c,n)=y_down-1;
653             n=n+1;
654             y_dr_act=y_down;
655             y_down=fila+1;
656         end
657     end
658 end
659
660 if y_dr_act == fila+1
661     c_dr=false;
662 end
663
664 if (x_right == col) || (y_dr_act == fila)
665     f_dr=true;
666     c_dr=true;
667     x_right=col+1;
668 else
669     y_down=y(c);
670     x_right=x_right+1;
671 end
672 end
673
674 plot(reg_x,reg_y, 'wx', 'Markersize',2);
675
676 % Para unir los puntos de la región
677 for p=1:length(reg_y)-1
678     diff_dr=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
679     if diff_dr > 1
680         if reg_y(p) > reg_y(p+1)
681             t=reg_y(p)-1;
682             while t > reg_y(p+1)
683                 plot(reg_x(p),t, 'wx', 'Markersize', 2);
684                 x(c,n)=reg_x(p);
685                 y(c,n)=t;
686                 n=n+1;
```

```
687         t=t-1;
688     end
689 end
690
691     if reg_y(p) < reg_y(p+1)
692         t=reg_y(p)+1;
693         while t < reg_y(p+1)
694             plot(reg_x(p),t, 'wx', 'Markersize', 2);
695             x(c,n)=reg_x(p);
696             y(c,n)=t;
697             n=n+1;
698             t=t+1;
699         end
700     end
701 end
702 end
703
704 dif_cd=abs(ryf_dld-reg_y(1));
705
706 if dif_cd > 1
707     if ryf_dld > reg_y(1)
708         t=ryf_dld-1;
709         while t > reg_y(1)
710             plot(rxf_dld+1,t, 'wx', 'Markersize', 2);
711             x(c,n)=rxf_dld+1;
712             y(c,n)=t;
713             n=n+1;
714             t=t-1;
715         end
716     end
717     if ryf_dld < reg_y(1)
718         t=ryf_dld+1;
719         while t < reg_y(1)
720             plot(rxf_dld+1,t, 'wx', 'Markersize', 2);
721             x(c,n)=rxf_dld+1;
722             y(c,n)=t;
723             n=n+1;
724             t=t+1;
725         end
726     end
727 end
728
729 rxf_dr=reg_x(length(reg_x));
730 ryf_dr=reg_y(length(reg_y));
731
732
733 %% Búsqueda en dirección up-left
734 reg_x=[];
735 reg_y=[];
736 r=1;
737 x_left=x(c);
738
739 while (f_ul==false) || (x_left >= 1)
740     while (y_up >= 1) || (c_ul==false)
741         if (MT_n(y_up,x_left) >= mi) && (MT_n(
742 (y_up,x_left) <= ms)
743             if y up == 1
```

```
743         c_ul=true;
744         reg_x(r)=x_left;
745         reg_y(r)=y_up;
746         r=r+1;
747         x(c,n)=x_left;
748         y(c,n)=y_up;
749         n=n+1;
750         y_ul_act=y_up-1;
751         y_up=0;
752     else
753         x(c,n)=x_left;
754         y(c,n)=y_up;
755         n=n+1;
756         y_up=y_up-1;
757     end
758
759     else
760         c_ul=true;
761         if y_up == y(c)-1
762             reg_x(r)=x_left;
763             reg_y(r)=y_up;
764             r=r+1;
765             x(c,n)=x_left;
766             y(c,n)=y_up;
767             n=n+1;
768             y_ul_act=1;
769             y_up=0;
770         else
771             reg_x(r)=x_left;
772             reg_y(r)=y_up+1;
773             r=r+1;
774             x(c,n)=x_left;
775             y(c,n)=y_up+1;
776             n=n+1;
777             y_ul_act=y_up;
778             y_up=0;
779         end
780     end
781 end
782
783 if y_ul_act == 0
784     c_ul=false;
785 end
786
787 if (x_left == 1) || (y_ul_act == 1)
788     f_ul=true;
789     c_ul=true;
790     x_left=0;
791 else
792     y_up=y(c)-1;
793     x_left=x_left-1;
794 end
795 end
796
797 plot(reg_x,reg_y,'wx','Markersize',2);
798
799 % Para unir los puntos de la región
800 for p=1:length(reg_y)-1
```

```
801 diff_ul=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
802 if diff_ul > 1
803     if reg_y(p) > reg_y(p+1)
804         t=reg_y(p)-1;
805         while t > reg_y(p+1)
806             plot(reg_x(p)-1, ←
t, 'wx', 'Markersize', 2);
807             x(c,n)=reg_x(p)-1;
808             y(c,n)=t;
809             n=n+1;
810             t=t-1;
811         end
812     end
813
814     if reg_y(p) < reg_y(p+1)
815         t=reg_y(p)+1;
816         while t < reg_y(p+1)
817             plot(reg_x(p)-1, ←
t, 'wx', 'Markersize', 2);
818             x(c,n)=reg_x(p)-1;
819             y(c,n)=t;
820             n=n+1;
821             t=t+1;
822         end
823     end
824 end
825 end
826
827 dif_lx=abs(rxf_dl-reg_x(length(reg_x)));
828 dif_ly=abs(ryf_dl-reg_y(length(reg_y)));
829
830 if (dif_ly > 1) && (dif_lx == 0)
831     t=reg_y(length(reg_y))+1;
832     while t < ryf_dl
833         plot(reg_x(length(reg_x)), ←
t, 'wx', 'Markersize', 2);
834         x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
835         y(c,n)=t;
836         n=n+1;
837         t=t+1;
838     end
839 end
840
841 if dif_lx > 1
842     if rxf_dl > reg_x(length(reg_x))
843         t=rxf_dl-1;
844         while t > reg_x(length(reg_x))
845             plot(t, ryf_dl, 'wx', 'Markersize', 2);
846             x(c,n)=ryf_dl;
847             y(c,n)=t;
848             n=n+1;
849             t=t-1;
850         end
851     end
852     if rxf_dl < reg_x(length(reg_x))
853         t=rxf_dl+1;
854         while t < reg_x(length(reg_x))
855             plot(t, ryf dl-1, 'wx', 'Markersize', 2);
```

```
856             x(c,n)=ryf_dl-1;
857             y(c,n)=t;
858             n=n+1;
859             t=t+1;
860         end
861     end
862 end
863
864
865
866     if dif_ly > 1
867         if ryf_dl > reg_y(length(reg_y))
868             t=ryf_dl-1;
869             while t > reg_y(length(reg_y))
870                 plot(rxf_dl,t, 'wx', 'Markersize', 2);
871                 x(c,n)=ryf_dl;
872                 y(c,n)=t;
873                 n=n+1;
874                 t=t-1;
875             end
876         end
877
878         if ryf_dl < reg_y(length(reg_y))
879             t=ryf_dl+1;
880             while t < reg_y(length(reg_y))
881                 plot(rxf_dl-1,t, 'wx', 'Markersize', 2);
882                 x(c,n)=ryf_dl-1;
883                 y(c,n)=t;
884                 n=n+1;
885                 t=t+1;
886             end
887         end
888     end
889
890     if (dif_lx > 1) && (dif_ly > 1)
891
892         if (reg_x(length(reg_x)) < rxf_dl) && (reg_y(
length(reg_y)) < ryf_dl)
893             start_x=reg_x(length(reg_x));
894             final_x=rxf_dl;
895             start_y=ryf_dl;
896             final_y=reg_y(length(reg_y));
897             for j=start_x:final_x
898                 plot(j, reg_y(length
length(reg_y)), 'wx', 'Markersize', 2);
899                 x(c,n)=j;
900                 y(c,n)=reg_y(length(reg_y));
901                 n=n+1;
902             end
903             for f=start_y:final_y
904                 plot(rxf_dl,f, 'wx', 'Markersize', 2);
905                 x(c,n)=rxf_dl;
906                 y(c,n)=f;
907                 n=n+1;
908             end
909         end
910
911         if (reg_x(length(reg_x)) > rxf_dl) && (reg_y(
```



```
967         r=r+1;
968         x(c,n)=x_right;
969         y(c,n)=y_up;
970         n=n+1;
971         y_ur_act=1;
972         y_up=0;
973     else
974         reg_x(r)=x_right;
975         reg_y(r)=y_up;
976         r=r+1;
977         x(c,n)=x_right;
978         y(c,n)=y_up;
979         n=n+1;
980         y_ur_act=y_up;
981         y_up=0;
982     end
983 end
984 end
985
986 if y_ur_act == 0
987     c_ur=false;
988 end
989
990 if (x_right == col) || (y_ur_act == 1)
991     f_ur=true;
992     c_ur=true;
993     x_right=col+1;
994 else
995     y_up=y(c)-1;
996     x_right=x_right+1;
997 end
998 end
999
1000 plot(reg_x,reg_y,'wx','Markersize',2);
1001
1002 % Para unir los puntos de la región
1003 for p=1:length(reg_y)-1
1004     diff_ur=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
1005     if diff_ur > 1
1006         if reg_y(p) > reg_y(p+1)
1007             t=reg_y(p)-1;
1008             while t > reg_y(p+1)
1009                 plot(reg_x(p)+1, ↵
1010 t, 'wx', 'Markersize', 2);
1011                 x(c,n)=reg_x(p)+1;
1012                 y(c,n)=t;
1013                 n=n+1;
1014                 t=t-1;
1015             end
1016         end
1017     if reg_y(p) < reg_y(p+1)
1018         t=reg_y(p)+1;
1019         while t < reg_y(p+1)
1020             plot(reg_x(p)+1, ↵
1021 t, 'wx', 'Markersize', 2);
1022                 x(c,n)=reg_x(p)+1;
1023                 v(c,n)=t;
```

```
1023             n=n+1;
1024             t=t+1;
1025             end
1026         end
1027     end
1028 end
1029
1030 dif_cy=abs(ryf_ul-reg_y(1));
1031
1032 if dif_cy > 1
1033     if ryf_ul > reg_y(1)
1034         t=ryf_ul-1;
1035         while t > reg_y(1)
1036             plot(rxf_ul,t, 'wx', 'Markersize',2);
1037             x(c,n)=rxf_ul;
1038             y(c,n)=t;
1039             n=n+1;
1040             t=t-1;
1041         end
1042     end
1043     if ryf_ul < reg_y(1)
1044         t=ryf_ul+1;
1045         while t < reg_y(1)
1046             plot(rxf_ul,t, 'wx', 'Markersize',2);
1047             x(c,n)=rxf_ul;
1048             y(c,n)=t;
1049             n=n+1;
1050             t=t+1;
1051         end
1052     end
1053 end
1054
1055 dif_rx=abs(rxf_dr-reg_x(length(reg_x)));
1056 dif_ry=abs(ryf_dr-reg_y(length(reg_y)));
1057
1058 if (dif_ry > 1) && (dif_rx == 0)
1059     if ryf_dr > reg_y(length(reg_y))
1060         t=reg_y(length(reg_y))+1;
1061         while t < ryf_dr
1062             plot(reg_x(length(reg_x)), t,
1063 t, 'wx', 'Markersize',2);
1064             x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1065             y(c,n)=t;
1066             n=n+1;
1067             t=t+1;
1068         end
1069     end
1070 end
1071
1072 if (dif_rx > 1) && (dif_ry == 1)
1073     if rxf_dr > reg_x(length(reg_x))
1074         t=rxf_dr-1;
1075         while t > reg_x(length(reg_x))
1076             plot(t,ryf_dr, 'wx', 'Markersize',2);
1077             x(c,n)=t;
1078             y(c,n)=ryf_dr;
1079             n=n+1;
```

```
1080         t=t-1;
1081         end
1082     end
1083     if rxf_dr < reg_x(length(reg_x))
1084         t=rxfr_dr+1;
1085         while t < reg_x(length(reg_x))
1086             plot(t,ryfr_dr, 'wx', 'Markersize',2);
1087             x(c,n)=t;
1088             y(c,n)=ryfr_dr;
1089             n=n+1;
1090             t=t+1;
1091         end
1092     end
1093 end
1094
1095
1096 if (dif_ry > 1) && (dif_rx == 1)
1097     if ryfr_dr > reg_y(length(reg_y))
1098         t=ryfr_dr-1;
1099         while t > reg_y(length(reg_y))
1100             plot(rxf_dr+1,t, 'wx', 'Markersize',2);
1101             x(c,n)=rxf_dr+1;
1102             y(c,n)=t;
1103             n=n+1;
1104             t=t-1;
1105         end
1106     end
1107     if ryfr_dr < reg_y(length(reg_y))
1108         t=ryfr_dr+1;
1109         while t < reg_y(length(reg_y))
1110             plot(rxf_dr+1,t, 'wx', 'Markersize',2);
1111             x(c,n)=rxf_dr+1;
1112             y(c,n)=t;
1113             n=n+1;
1114             t=t+1;
1115         end
1116     end
1117 end
1118
1119 if (dif_ry > 1) && (dif_rx > 1)
1120
1121     if (reg_x(length(reg_x)) < rxf_dr) && (reg_y
1122 (length(reg_y)) < ryfr_dr)
1123         start_x=reg_x(length(reg_x));
1124         final_x=rxf_dr;
1125         start_y=reg_y(length(reg_y));
1126         final_y=ryfr_dr;
1127         for j=start_x:final_x
1128             plot(j,reg_y(length
1129 (reg_y)), 'wx', 'Markersize',2);
1130             x(c,n)=j;
1131             y(c,n)=reg_y(length(reg_y));
1132             n=n+1;
1133         end
1134         for f=start_y:final_y
1135             plot(rxf_dr,f, 'wx', 'Markersize',2);
1136             x(c,n)=rxf_dr;
1137             y(c,n)=f;
```

```
1136             n=n+1;
1137             end
1138         end
1139
1140         if (reg_x(length(reg_x)) > rxf_dr) && (reg_y↵
(length(reg_y)) < ryf_dr)
1141             start_x=rxf_dr;
1142             final_x=reg_x(length(reg_x));
1143             start_y=reg_y(length(reg_y));
1144             final_y=ryf_dr;
1145             for j=start_x:final_x
1146                 plot(j,ryf_dr,'wx','Markersize',2);
1147                 x(c,n)=j;
1148                 y(c,n)=ryf_dr;
1149                 n=n+1;
1150             end
1151             for f=start_y:final_y
1152                 plot(reg_x(length(reg_x)), ↵
f,'wx','Markersize',2);
1153                 x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1154                 y(c,n)=f;
1155                 n=n+1;
1156             end
1157         end
1158     end
1159
1160     % Datos de temperaturas de la región del punto ↵
seleccionado
1161
1162     k=1;
1163
1164     while k<=length(x)
1165         if x(c,k) == 0
1166             k=length(x)+1;
1167         else
1168             MT_maq(y(c,k),x(c,k))=0;
1169             k=k+1;
1170         end
1171     end
1172
1173     reg_x=[];
1174     reg_y=[];
1175     r=1;
1176     n=2;
1177     end
1178
1179     x=[];
1180     y=[];
1181     T_sel=[];
1182     end
1183
1184
1185     [x,y,T_sel]=impixel; % Habilita la opción de seleccionar ↵
con el ratón diferentes puntos
1186     n=2; % Variable para completar todas las coordenadas de la ↵
región de cada punto seleccionado
1187
1188     [fila,col]=size(MT n); % Datos de la dimensión de la ↵
```

```
matriz
1189
1190           % Representar los puntos de temperaturas seleccionados
1191
1192           for h=1:length(x)
1193               plot(x(h),y(h), 'r.', 'Markersize',15);
1194           end
1195
1196           T_sel(:,3)=[]; % Eliminar la columna 3
1197           T_sel(:,2)=[]; % Eliminar la columna 2
1198           T_sel_media=mean(T_sel, 'all'); % Temperatura media de la
zona seleccionada
1199           T_sel_max=max(T_sel); % Temperatura máxima de la zona
seleccionada
1200           T_sel_min=min(T_sel); % Temperatura mínima de la zona
seleccionada
1201
1202           % % Búsqueda de las zonas
1203           for c=1:length(T_sel)
1204
1205               % Tolerancia +- grados C
1206               mi=T_sel(c)-tol;
1207               ms=T_sel(c)+tol;
1208
1209               % Variables iniciales para la búsqueda de regiones
1210               x_left=x(c);
1211               x_right=x(c)+1;
1212               y_down=y(c);
1213               y_up=y(c)-1;
1214               f_dl=false;
1215               f_dr=false;
1216               f_ul=false;
1217               f_ur=false;
1218               c_dl=false;
1219               c_dr=false;
1220               c_ul=false;
1221               c_ur=false;
1222               r=1;
1223
1224               % % Búsqueda en dirección down-left
1225               while (f_dl==false) || (x_left >= 1)
1226                   while (y_down <= fila) || (c_dl==false)
1227                       if (MT_n(y_down,x_left) >= mi) && (MT_n
(y_down,x_left) <= ms)
1228                           if y_down == fila
1229                               c_dl=true;
1230                               reg_x(r)=x_left;
1231                               reg_y(r)=y_down;
1232                               r=r+1;
1233                               x(c,n)=x_left;
1234                               y(c,n)=y_down;
1235                               n=n+1;
1236                               y_dl_act=y_down+1;
1237                               y_down=fila+1;
1238                           else
1239                               x(c,n)=x_left;
1240                               y(c,n)=y_down;
1241                               n=n+1;
```

```
1242         y_down=y_down+1;
1243     end
1244
1245     else
1246         c_dl=true;
1247         if y_down == y(c)
1248             reg_x(r)=x_left;
1249             reg_y(r)=y_down;
1250             r=r+1;
1251             x(c,n)=x_left;
1252             y(c,n)=y_down;
1253             n=n+1;
1254             y_dl_act=fila;
1255             y_down=fila+1;
1256         else
1257             reg_x(r)=x_left;
1258             reg_y(r)=y_down-1;
1259             r=r+1;
1260             x(c,n)=x_left;
1261             y(c,n)=y_down-1;
1262             n=n+1;
1263             y_dl_act=y_down;
1264             y_down=fila+1;
1265         end
1266     end
1267 end
1268
1269 if y_dl_act == fila+1
1270     c_dl=false;
1271 end
1272
1273 if (x_left == 1) || (y_dl_act == fila)
1274     f_dl=true;
1275     c_dl=true;
1276     x_left=0;
1277 else
1278     y_down=y(c);
1279     x_left=x_left-1;
1280 end
1281 end
1282
1283 plot(reg_x,reg_y,'mx','Markersize',2);
1284
1285 % Para unir los puntos de la región
1286 for p=1:length(reg_y)-1
1287     diff_dl=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
1288     if diff_dl > 1
1289         if reg_y(p) > reg_y(p+1)
1290             t=reg_y(p)-1;
1291             while t > reg_y(p+1)
1292                 plot(reg_x(p)-1,t,'mx','Markersize',2);
1293                 x(c,n)=reg_x(p)-1;
1294                 y(c,n)=t;
1295                 n=n+1;
1296                 t=t-1;
1297             end
1298         end
1299     end
1300 end
```

```
1299
1300         if reg_y(p) < reg_y(p+1)
1301             t=reg_y(p)+1;
1302             while t < reg_y(p+1)
1303                 plot(reg_x(p)-1,t, 'mx', 'Markersize', 4
1304                 2);
1305                 x(c,n)=reg_x(p)-1;
1306                 y(c,n)=t;
1307                 n=n+1;
1308                 t=t+1;
1309             end
1310         end
1311     end
1312     rxf_dl=reg_x(length(reg_x));
1313     ryf_dl=reg_y(length(reg_y));
1314     rxf_dld=reg_x(1);
1315     ryf_dld=reg_y(1);
1316
1317     %% Búsqueda en dirección down-right
1318     reg_x=[];
1319     reg_y=[];
1320     r=1;
1321     y_down=y(c);
1322     while (f_dr==false) || (x_right <= col)
1323         while (y_down <= fila) || (c_dr==false)
1324             if (MT_n(y_down,x_right) >= mi) && (MT_n<
1325 (y_down,x_right) <= ms)
1326                 if y_down == fila
1327                     c_dr=true;
1328                     reg_x(r)=x_right;
1329                     reg_y(r)=y_down;
1330                     r=r+1;
1331                     x(c,n)=x_right;
1332                     y(c,n)=y_down;
1333                     n=n+1;
1334                     y_dr_act=y_down+1;
1335                     y_down=fila+1;
1336                 else
1337                     x(c,n)=x_right;
1338                     y(c,n)=y_down;
1339                     n=n+1;
1340                     y_down=y_down+1;
1341                 end
1342             else
1343                 c_dr=true;
1344                 if y_down == y(c)
1345                     reg_x(r)=x_right;
1346                     reg_y(r)=y(c);
1347                     r=r+1;
1348                     x(c,n)=x_right;
1349                     y(c,n)=y_down;
1350                     n=n+1;
1351                     y_dr_act=fila;
1352                     y_down=fila+1;
1353                 else
1354                     reg_x(r)=x_right;
1355                     reg_y(r)=y_down-1;
```

```
1355         r=r+1;
1356         x(c,n)=x_right;
1357         y(c,n)=y_down-1;
1358         n=n+1;
1359         y_dr_act=y_down;
1360         y_down=fila+1;
1361     end
1362 end
1363 end
1364
1365 if y_dr_act == fila+1
1366     c_dr=false;
1367 end
1368
1369 if (x_right == col) || (y_dr_act == fila)
1370     f_dr=true;
1371     c_dr=true;
1372     x_right=col+1;
1373 else
1374     y_down=y(c);
1375     x_right=x_right+1;
1376 end
1377 end
1378
1379 plot(reg_x,reg_y, 'mx', 'Markersize',2);
1380
1381 % Para unir los puntos de la región
1382 for p=1:length(reg_y)-1
1383     diff_dr=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
1384     if diff_dr > 1
1385         if reg_y(p) > reg_y(p+1)
1386             t=reg_y(p)-1;
1387             while t > reg_y(p+1)
1388                 plot(reg_x(p),t, 'mx', 'Markersize',2);
1389                 x(c,n)=reg_x(p);
1390                 y(c,n)=t;
1391                 n=n+1;
1392                 t=t-1;
1393             end
1394         end
1395
1396         if reg_y(p) < reg_y(p+1)
1397             t=reg_y(p)+1;
1398             while t < reg_y(p+1)
1399                 plot(reg_x(p),t, 'mx', 'Markersize',2);
1400                 x(c,n)=reg_x(p);
1401                 y(c,n)=t;
1402                 n=n+1;
1403                 t=t+1;
1404             end
1405         end
1406     end
1407 end
1408
1409 dif_cd=abs(ryf_dld-reg_y(1));
1410
1411 if dif_cd > 1
1412     if ryf dld > req v(1)
```

```
1413         t=ryf_dld-1;
1414         while t > reg_y(1)
1415             plot(rxf_dld+1,t, 'mx', 'Markersize',2);
1416             x(c,n)=rxf_dld+1;
1417             y(c,n)=t;
1418             n=n+1;
1419             t=t-1;
1420         end
1421     end
1422     if ryf_dld < reg_y(1)
1423         t=ryf_dld+1;
1424         while t < reg_y(1)
1425             plot(rxf_dld+1,t, 'mx', 'Markersize',2);
1426             x(c,n)=rxf_dld+1;
1427             y(c,n)=t;
1428             n=n+1;
1429             t=t+1;
1430         end
1431     end
1432 end
1433
1434 rxf_dr=reg_x(length(reg_x));
1435 ryf_dr=reg_y(length(reg_y));
1436
1437
1438 % % Búsqueda en dirección up-left
1439 reg_x=[];
1440 reg_y=[];
1441 r=1;
1442 x_left=x(c);
1443
1444 while (f_ul==false) || (x_left >= 1)
1445     while (y_up >= 1) || (c_ul==false)
1446         if (MT_n(y_up,x_left) >= mi) && (MT_n(y_up,
x_left) <= ms)
1447             if y_up == 1
1448                 c_ul=true;
1449                 reg_x(r)=x_left;
1450                 reg_y(r)=y_up;
1451                 r=r+1;
1452                 x(c,n)=x_left;
1453                 y(c,n)=y_up;
1454                 n=n+1;
1455                 y_ul_act=y_up-1;
1456                 y_up=0;
1457             else
1458                 x(c,n)=x_left;
1459                 y(c,n)=y_up;
1460                 n=n+1;
1461                 y_up=y_up-1;
1462             end
1463         else
1464             else
1465                 c_ul=true;
1466                 if y_up == y(c)-1
1467                     reg_x(r)=x_left;
1468                     reg_y(r)=y_up;
1469                     r=r+1;
```

```
1470         x(c,n)=x_left;
1471         y(c,n)=y_up;
1472         n=n+1;
1473         y_ul_act=1;
1474         y_up=0;
1475     else
1476         reg_x(r)=x_left;
1477         reg_y(r)=y_up+1;
1478         r=r+1;
1479         x(c,n)=x_left;
1480         y(c,n)=y_up+1;
1481         n=n+1;
1482         y_ul_act=y_up;
1483         y_up=0;
1484     end
1485 end
1486 end
1487
1488 if y_ul_act == 0
1489     c_ul=false;
1490 end
1491
1492 if (x_left == 1) || (y_ul_act == 1)
1493     f_ul=true;
1494     c_ul=true;
1495     x_left=0;
1496 else
1497     y_up=y(c)-1;
1498     x_left=x_left-1;
1499 end
1500 end
1501
1502 plot(reg_x,reg_y, 'mx', 'Markersize', 2);
1503
1504 % Para unir los puntos de la región
1505 for p=1:length(reg_y)-1
1506     diff_ul=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
1507     if diff_ul > 1
1508         if reg_y(p) > reg_y(p+1)
1509             t=reg_y(p)-1;
1510             while t > reg_y(p+1)
1511                 plot(reg_x(p)-1,t, 'mx', 'Markersize', 2);
1512                 x(c,n)=reg_x(p)-1;
1513                 y(c,n)=t;
1514                 n=n+1;
1515                 t=t-1;
1516             end
1517         end
1518
1519         if reg_y(p) < reg_y(p+1)
1520             t=reg_y(p)+1;
1521             while t < reg_y(p+1)
1522                 plot(reg_x(p)-1,t, 'mx', 'Markersize', 2);
1523                 x(c,n)=reg_x(p)-1;
1524                 y(c,n)=t;
1525                 n=n+1;
```

```
1526                                     t=t+1;
1527                                     end
1528                                 end
1529                             end
1530                         end
1531
1532                         dif_lx=abs(rxf_dl-reg_x(length(reg_x)));
1533                         dif_ly=abs(ryf_dl-reg_y(length(reg_y)));
1534
1535                         if (dif_ly > 1) && (dif_lx == 0)
1536                             t=reg_y(length(reg_y))+1;
1537                             while t < ryf_dl
1538                                 plot(reg_x(length(reg_x)),t, 'mx', 'Markersize', 2);
1539
1540                                 x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1541                                 y(c,n)=t;
1542                                 n=n+1;
1543                                 t=t+1;
1544                             end
1545                         end
1546
1547                         if dif_lx > 1
1548                             if rxf_dl > reg_x(length(reg_x))
1549                                 t=rx_f_dl-1;
1550                                 while t > reg_x(length(reg_x))
1551                                     plot(t,ryf_dl, 'mx', 'Markersize', 2);
1552                                     x(c,n)=ryf_dl;
1553                                     y(c,n)=t;
1554                                     n=n+1;
1555                                     t=t-1;
1556                                 end
1557                             end
1558                             if rxf_dl < reg_x(length(reg_x))
1559                                 t=rx_f_dl+1;
1560                                 while t < reg_x(length(reg_x))
1561                                     plot(t,ryf_dl-1, 'mx', 'Markersize', 2);
1562                                     x(c,n)=ryf_dl-1;
1563                                     y(c,n)=t;
1564                                     n=n+1;
1565                                     t=t+1;
1566                                 end
1567                             end
1568                         end
1569
1570
1571                         if dif_ly > 1
1572                             if ryf_dl > reg_y(length(reg_y))
1573                                 t=ryf_dl-1;
1574                                 while t > reg_y(length(reg_y))
1575                                     plot(rxf_dl,t, 'mx', 'Markersize', 2);
1576                                     x(c,n)=ryf_dl;
1577                                     y(c,n)=t;
1578                                     n=n+1;
1579                                     t=t-1;
1580                                 end
1581                             end
1582                         end
```

```
1583         if ryf_dl < reg_y(length(reg_y))
1584             t=ryf_dl+1;
1585             while t < reg_y(length(reg_y))
1586                 plot(rxf_dl-1,t, 'mx', 'Markersize',2);
1587                 x(c,n)=ryf_dl-1;
1588                 y(c,n)=t;
1589                 n=n+1;
1590                 t=t+1;
1591             end
1592         end
1593     end
1594
1595     if (dif_lx > 1) && (dif_ly > 1)
1596
1597         if (reg_x(length(reg_x)) < rxf_dl) && (reg_y(
1598             length(reg_y)) < ryf_dl)
1599             start_x=reg_x(length(reg_x));
1600             final_x=rxf_dl;
1601             start_y=ryf_dl;
1602             final_y=reg_y(length(reg_y));
1603             for j=start_x:final_x
1604                 plot(j,reg_y(length(
1605                     reg_y)), 'mx', 'Markersize',2);
1606                 x(c,n)=j;
1607                 y(c,n)=reg_y(length(reg_y));
1608                 n=n+1;
1609             end
1610             for f=start_y:final_y
1611                 plot(rxf_dl,f, 'mx', 'Markersize',2);
1612                 x(c,n)=rxf_dl;
1613                 y(c,n)=f;
1614                 n=n+1;
1615             end
1616         end
1617     if (reg_x(length(reg_x)) > rxf_dl) && (reg_y(
1618         length(reg_y)) < ryf_dl)
1619         start_x=rxf_dl;
1620         final_x=reg_x(length(reg_x));
1621         start_y=reg_y(length(reg_y));
1622         final_y=ryf_dl;
1623         for j=start_x:final_x
1624             plot(j,ryf_dl, 'mx', 'Markersize',2);
1625             x(c,n)=j;
1626             y(c,n)=ryf_dl;
1627             n=n+1;
1628         end
1629         for f=start_y:final_y
1630             plot(reg_x(length(reg_x)),
1631                 f, 'mx', 'Markersize',2);
1632             x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1633             y(c,n)=f;
1634             n=n+1;
1635         end
1636     end
1637 end
1638
1639     end
1640 end
```

```
1637         rxf_ul=reg_x(1);
1638         ryf_ul=reg_y(1);
1639
1640         %% Búsqueda en dirección up-right
1641         reg_x=[];
1642         reg_y=[];
1643         r=1;
1644         y_up=y(c)-1;
1645         x_right=x(c)+1;
1646
1647         while (f_ur==false) || (x_right <= col)
1648             while (y_up >= 1) || (c_ur==false)
1649                 if (MT_n(y_up,x_right) >= mi) && (MT_n(y_up,
x_right) <= ms)
1650                     if y_up == 1
1651                         c_ur=true;
1652                         reg_x(r)=x_right;
1653                         reg_y(r)=y_up;
1654                         r=r+1;
1655                         x(c,n)=x_right;
1656                         y(c,n)=y_up;
1657                         n=n+1;
1658                         y_ur_act=y_up-1;
1659                         y_up=0;
1660                     else
1661                         x(c,n)=x_right;
1662                         y(c,n)=y_up;
1663                         n=n+1;
1664                         y_up=y_up-1;
1665                     end
1666
1667                 else
1668                     c_ur=true;
1669                     if y_up == y(c)-1
1670                         reg_x(r)=x_right;
1671                         reg_y(r)=y_up;
1672                         r=r+1;
1673                         x(c,n)=x_right;
1674                         y(c,n)=y_up;
1675                         n=n+1;
1676                         y_ur_act=1;
1677                         y_up=0;
1678                     else
1679                         reg_x(r)=x_right;
1680                         reg_y(r)=y_up;
1681                         r=r+1;
1682                         x(c,n)=x_right;
1683                         y(c,n)=y_up;
1684                         n=n+1;
1685                         y_ur_act=y_up;
1686                         y_up=0;
1687                     end
1688                 end
1689             end
1690
1691         if y_ur_act == 0
1692             c_ur=false;
1693         end
```

```
1694
1695         if (x_right == col) || (y_ur_act == 1)
1696             f_ur=true;
1697             c_ur=true;
1698             x_right=col+1;
1699         else
1700             y_up=y(c)-1;
1701             x_right=x_right+1;
1702         end
1703     end
1704
1705     plot(reg_x,reg_y, 'mx', 'Markersize',2);
1706
1707     % Para unir los puntos de la región
1708     for p=1:length(reg_y)-1
1709         diff_ur=abs(reg_y(p)-reg_y(p+1));
1710         if diff_ur > 1
1711             if reg_y(p) > reg_y(p+1)
1712                 t=reg_y(p)-1;
1713                 while t > reg_y(p+1)
1714                     plot(reg_x(p)+1,t, 'mx', 'Markersize', ↵
1715                         2);
1716                     x(c,n)=reg_x(p)+1;
1717                     y(c,n)=t;
1718                     n=n+1;
1719                     t=t-1;
1720                 end
1721             end
1722             if reg_y(p) < reg_y(p+1)
1723                 t=reg_y(p)+1;
1724                 while t < reg_y(p+1)
1725                     plot(reg_x(p)+1,t, 'mx', 'Markersize', ↵
1726                         2);
1727                     x(c,n)=reg_x(p)+1;
1728                     y(c,n)=t;
1729                     n=n+1;
1730                     t=t+1;
1731                 end
1732             end
1733         end
1734
1735         dif_cy=abs(ryf_ul-reg_y(1));
1736
1737         if dif_cy > 1
1738             if ryf_ul > reg_y(1)
1739                 t=ryf_ul-1;
1740                 while t > reg_y(1)
1741                     plot(rxf_ul,t, 'mx', 'Markersize',2);
1742                     x(c,n)=rxf_ul;
1743                     y(c,n)=t;
1744                     n=n+1;
1745                     t=t-1;
1746                 end
1747             end
1748             if ryf_ul < reg_y(1)
1749                 t=ryf ul+1;
```

```
1750         while t < reg_y(1)
1751             plot(rxf_ul,t, 'mx', 'Markersize',2);
1752             x(c,n)=rxf_ul;
1753             y(c,n)=t;
1754             n=n+1;
1755             t=t+1;
1756         end
1757     end
1758 end
1759
1760 dif_rx=abs(rxf_dr-reg_x(length(reg_x)));
1761 dif_ry=abs(ryf_dr-reg_y(length(reg_y)));
1762
1763 if (dif_ry > 1) && (dif_rx == 0)
1764     if ryf_dr > reg_y(length(reg_y))
1765         t=reg_y(length(reg_y))+1;
1766         while t < ryf_dr
1767             plot(reg_x(length(reg_x)),
1768 t, 'mx', 'Markersize',2);
1769             x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1770             y(c,n)=t;
1771             n=n+1;
1772             t=t+1;
1773         end
1774     end
1775 end
1776
1777 if (dif_rx > 1) && (dif_ry == 1)
1778     if rxf_dr > reg_x(length(reg_x))
1779         t=rxf_dr-1;
1780         while t > reg_x(length(reg_x))
1781             plot(t,ryf_dr, 'mx', 'Markersize',2);
1782             x(c,n)=t;
1783             y(c,n)=ryf_dr;
1784             n=n+1;
1785             t=t-1;
1786         end
1787     end
1788     if rxf_dr < reg_x(length(reg_x))
1789         t=rxf_dr+1;
1790         while t < reg_x(length(reg_x))
1791             plot(t,ryf_dr, 'mx', 'Markersize',2);
1792             x(c,n)=t;
1793             y(c,n)=ryf_dr;
1794             n=n+1;
1795             t=t+1;
1796         end
1797     end
1798 end
1799
1800
1801 if (dif_ry > 1) && (dif_rx == 1)
1802     if ryf_dr > reg_y(length(reg_y))
1803         t=ryf_dr-1;
1804         while t > reg_y(length(reg_y))
1805             plot(rxf_dr+1,t, 'mx', 'Markersize',2);
1806             x(c,n)=rxf_dr+1;
```

```
1807             y(c,n)=t;
1808             n=n+1;
1809             t=t-1;
1810         end
1811     end
1812     if ryf_dr < reg_y(length(reg_y))
1813         t=ryf_dr+1;
1814         while t < reg_y(length(reg_y))
1815             plot(rxf_dr+1,t, 'mx', 'Markersize',2);
1816             x(c,n)=rxf_dr+1;
1817             y(c,n)=t;
1818             n=n+1;
1819             t=t+1;
1820         end
1821     end
1822 end
1823
1824 if (dif_ry > 1) && (dif_rx > 1)
1825
1826     if (reg_x(length(reg_x)) < rxf_dr) && (reg_y(
1827 (length(reg_y)) < ryf_dr)
1828         start_x=reg_x(length(reg_x));
1829         final_x=rxf_dr;
1830         start_y=reg_y(length(reg_y));
1831         final_y=ryf_dr;
1832         for j=start_x:final_x
1833             plot(j,reg_y(length(
1834 (reg_y)), 'mx', 'Markersize',2);
1835             x(c,n)=j;
1836             y(c,n)=reg_y(length(reg_y));
1837             n=n+1;
1838         end
1839         for f=start_y:final_y
1840             plot(rxf_dr,f, 'mx', 'Markersize',2);
1841             x(c,n)=rxf_dr;
1842             y(c,n)=f;
1843             n=n+1;
1844         end
1845     end
1846     if (reg_x(length(reg_x)) > rxf_dr) && (reg_y(
1847 (length(reg_y)) < ryf_dr)
1848         start_x=rxf_dr;
1849         final_x=reg_x(length(reg_x));
1850         start_y=reg_y(length(reg_y));
1851         final_y=ryf_dr;
1852         for j=start_x:final_x
1853             plot(j,ryf_dr, 'mx', 'Markersize',2);
1854             x(c,n)=j;
1855             y(c,n)=ryf_dr;
1856             n=n+1;
1857         end
1858         for f=start_y:final_y
1859             plot(reg_x(length(reg_x)),
1860 f, 'mx', 'Markersize',2);
1861             x(c,n)=reg_x(length(reg_x));
1862             y(c,n)=f;
1863             n=n+1;
```

```
1861         end
1862     end
1863 end
1864
1865     % Datos de temperaturas de la región del punto ↵
seleccionado
1866
1867     u=1;
1868
1869     while u<=length(x)
1870         if x(c,u) == 0
1871             u=length(x)+1;
1872         else
1873             T_reg(c,u)=MT_n(y(c,u),x(c,u));
1874             u=u+1;
1875         end
1876     end
1877
1878     T_r_max(c)=max(T_reg(c,:)); % Temperatura máxima de la ↵
región
1879     T_r_media(c)=mean(T_reg(c,:)); % Temperatura máxima de ↵
la región
1880
1881     T_r_aux=T_r_max(c);
1882     for k=1:length(T_reg)
1883         if (T_reg(c,k) < T_r_aux) && (T_reg(c,k) > 0)
1884             T_r_aux=T_reg(c,k);
1885         end
1886     end
1887     T_r_min(c)=T_r_aux; % Temperatura mínima de la región
1888
1889     reg_x=[];
1890     reg_y=[];
1891     r=1;
1892     n=2;
1893 end
1894
1895 hold off;
1896
1897 % Información de todos los datos seleccionados
1898
1899 if length(T_sel) == 1
1900     app.Tselmed.Visible='off';
1901     app.Tselmax.Visible='off';
1902     app.TselmedLabel.Visible='off';
1903     app.TselmaxLabel.Visible='off';
1904     if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS ↵
DATOS SELECCIONADOS')
1905         app.TselminLabel.Text='Temperatura del punto ↵
seleccionado';
1906     end
1907     if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMATION OF THE ↵
SELECTED DATAS')
1908         app.TselminLabel.Text='Temperature of selected ↵
point';
1909     end
1910     if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, '선택한 데이터 정보 보 ↵
기')
1911         app.TselminLabel.Text='선택한 포인트의 온도';
```

```
1911         end
1912         app.Tselmin.Value=T_sel;
1913     else
1914         app.Tselmed.Visible='on';
1915         app.Tselmax.Visible='on';
1916         app.Tselmed.Value=T_sel_media;
1917         app.Tselmin.Value=T_sel_min;
1918         app.Tselmax.Value=T_sel_max;
1919     end
1920
1921
1922         if strcmp(app.siono.Value, 'Sí') || strcmp(app.siono.
Value, 'Yes') || strcmp(app.siono.Value, '0')
1923
1924             % Datos de temperatura sin las regiones que no
1925             % pertenecen al dispositivo
1926
1927             sum_Tmaq=0;
1928             c_med=0;
1929
1930             for l=1:fila
1931                 for m=1:col
1932                     if MT_maq(l,m) > 0
1933                         sum_Tmaq=sum_Tmaq+MT_maq(l,m);
1934                         c_med=c_med+1;
1935                     end
1936                 end
1937             end
1938
1939             T_maq_media=sum_Tmaq/c_med; % Temperatura media
1940             T_maq_max=max(max(MT_maq)); % Temperatura máxima
1941             T_maq_aux=T_maq_max;
1942             for k=1:fila
1943                 for g=1:col
1944                     if (MT_maq(k,g) < T_maq_aux) && (MT_maq(k,g) >
0)
1945                         T_maq_aux=MT_maq(k,g);
1946                     end
1947                 end
1948             end
1949             T_maq_min=T_maq_aux; % Temperatura mínima
1950
1951             app.Tmaqmed.Value=T_maq_media;
1952             app.Tmaqmin.Value=T_maq_min;
1953             app.Tmaqmax.Value=T_maq_max;
1954
1955         end
1956
1957         if strcmp(app.siono.Value, 'No') || strcmp(app.siono.
Value, '아니요')
1958             T_media=mean(MT_n, 'all'); % Temperatura media
1959             T_max=max(max(MT_n)); % Temperatura máxima
1960             T_min=min(min(MT_n)); % Temperatura mínima
1961             app.Tmaqmed.Value=T_media;
1962             app.Tmaqmin.Value=T_min;
1963             app.Tmaqmax.Value=T_max;
1964         end
1965
```

```
1966
1967         % Temperaturas por cada zona
1968
1969         for t=1:length(T_r_min)
1970             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS')
1971                 fprintf('ZONA %G\nTemperatura media = %f °C\nTemperatura mínima = %f °C\nTemperatura máxima = %f °C', t, T_r_media(t), T_r_min(t), T_r_max(t));
1972                 fprintf('\n');
1973             end
1974             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMATION OF THE SELECTED DATAS')
1975                 fprintf('ZONE %G\nAverage Temperature = %f °C\nMinimum Temperature = %f °C\nMaximum Temperature = %f °C', t, T_r_media(t), T_r_min(t), T_r_max(t));
1976                 fprintf('\n');
1977             end
1978             if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, '선택한 데이터 정보 보기')
1979                 fprintf('%G번 영역\n평균 온도 = %f °C\n최저 온도 = %f °C\n최고 온도 = %f °C', t, T_r_media(t), T_r_min(t), T_r_max(t));
1980                 fprintf('\n');
1981             end
1982         end
1983
1984         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS')
1985             app.Porcadazona.Value=sprintf('Ver la ventana de comandos de MATLAB');
1986         end
1987
1988         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMATION OF THE SELECTED DATAS')
1989             app.Porcadazona.Value=sprintf('See the command window of MATLAB');
1990         end
1991
1992         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, '선택한 데이터 정보 보기')
1993             app.Porcadazona.Value=sprintf('MATLAB 명령어창 확인');
1994         end
1995
1996
1997     end
1998
1999     end
2000
2001     end
2002
2003     % Button pushed function: Restart
2004     function RestartButtonPushed(app, event)
2005
2006         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text, 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS')
2007             app.Instruction.Text='Pulse el botón "IMPORTAR DATOS" y seleccione el archivo de los datos de la imagen que desee visualizar';
2008             app.IMPORTARDATOSButton.Text='IMPORTAR DATOS';
2009             app.MostImDat.Text='Mostrar la imagen e información de los
```

```
datos seleccionados';
2010         app.InfoDatosSel.Text='INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS';
2011         app.DispLabel.Text='¿A qué componente corresponde la imagen que desea visualizar?';
2012         app.Disp.Items={'Seleccione','Máquina Eléctrica','Máquina de CC','Convertidor de Potencia','Fuente de CC','Resistencias añadidas al estátor'};
2013         app.NumInterpLabel.Text='Número de interpolaciones en los datos de la imagen';
2014         app.ModoSelLabel.Text='Modo de selección de datos';
2015         app.ModoSel.Items={'Seleccione','Punto/s','Zona cuadrada',};
2016         app.sionoLabel.Text='¿Desea eliminar las zonas que no pertenezcan al dispositivo?';
2017         app.siono.Items={'Seleccione','Sí','No'};
2018         app.ToleranciaLabel.Text='Establecer el valor de la tolerancia para marcar la zona/s (°C)';
2019         app.Restart.Text='REINICIAR LA APP';
2020         app.TselmedLabel.Text='Temperatura media de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2021         app.TselminLabel.Text='Temperatura mínima de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2022         app.TselmaxLabel.Text='Temperatura máxima de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2023         app.TmaqmedLabel.Text='Temperatura media del componente elegido (°C)';
2024         app.TmaqminLabel.Text='Temperatura mínima del componente elegido (°C)';
2025         app.TmaqmaxLabel.Text='Temperatura máxima del componente elegido (°C)';
2026         app.PorcadazonaLabel.Text='Por cada zona';
2027         app.Disp.Value='Seleccione';
2028         app.ModoSel.Value='Seleccione';
2029         app.siono.Value='Seleccione';
2030         end
2031
2032         if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'INFORMATION OF THE SELECTED DATAS')
2033             app.Instruction.Text='Push the button "IMPORT DATA" and select the datas file of the image you want to see';
2034             app.IMPORTARDATOSButton.Text='IMPORT DATA';
2035             app.MostImDat.Text='Show the image and the information of the selected datas';
2036             app.InfoDatosSel.Text='INFORMATION OF THE SELECTED DATAS';
2037             app.DispLabel.Text='To which component corresponds to the image you want to display?';
2038             app.Disp.Items={'Select','Electric Machine','DC Machine','Power Converter','DC Source','Resistors added to the stator'};
2039             app.NumInterpLabel.Text='Number of interpolations in the image datas';
2040             app.ModoSelLabel.Text='Mode of data selection';
2041             app.ModoSel.Items={'Select','Point/s','Square zone'};
2042             app.sionoLabel.Text='¿Do you want remove the zones not belong to the device?';
2043             app.siono.Items={'Select','Yes','No'};
2044             app.ToleranciaLabel.Text='Set tolerance value for marking the zone/s (°C)';
2045             app.Restart.Text='RESTART THE APP';
2046             app.TselmedLabel.Text='Average temperature of the selected
```

```
zone or selected points (°C)';
2047     app.TselminLabel.Text='Minimum temperature of the selected
zone or selected points (°C)';
2048     app.TselmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected
zone or selected points (°C)';
2049     app.TmaqmedLabel.Text='Average temperature of the selected
component (°C)';
2050     app.TmaqminLabel.Text='Minimum temperature of the selected
component (°C)';
2051     app.TmaqmaxLabel.Text='Maximum temperature of the selected
component (°C)';
2052     app.PorcadazonaLabel.Text='For each zone';
2053     app.Disp.Value='Select';
2054     app.ModoseL.Value='Select';
2055     app.siono.Value='Select';
2056     end
2057
2058     if strcmp(app.InfoDatosSel.Text,'선택한 데이터 정보 보기')
2059         app.Instruction.Text='"데이터 불러오기" 버튼을 누르시고, 보기 원하시
는 이미지의 데이터 파일을 선택하세요';
2060         app.IMPORTARDATOSButton.Text='데이터 불러오기';
2061         app.MostImDat.Text='이미지 및 선택한 데이터 정보 보기';
2062         app.InfoDatosSel.Text='선택한 데이터 정보 보기';
2063         app.DispLabel.Text='표시하려는 이미지가 어떤 부품에 해당되나요?';
2064         app.Disp.Items={'선택하세요','전기 기계','직류전동기','전력변환
기','직류 전원 공급기','고정자에 추가된 저항기'};
2065         app.NumInterpLabel.Text='이미지 데이터의 보관 횟수';
2066         app.ModoseLLabel.Text='데이터 선택 방식';
2067         app.ModoseL.Items={'선택하세요','포인트','정사각형 영역'};
2068         app.sionoLabel.Text='¿장치가 아닌 영역들을 제외 하시겠습니까?';
2069         app.siono.Items={'선택하세요','예','아니요'};
2070         app.ToleranciaLabel.Text='영역 표시를 위한 허용 오차 값을 설정하세요
(°C)';
2071         app.Restart.Text='앱 다시 시작하기';
2072         app.TselmedLabel.Text='선택한 영역의 평균 온도 / 선택한 포인트들의
평균 온도 (°C)';
2073         app.TselminLabel.Text='선택한 영역의 최저 온도 / 선택한 포인트들의
최저 온도 (°C)';
2074         app.TselmaxLabel.Text='선택한 영역의 최고 온도 / 선택한 포인트들의
최고 온도 (°C)';
2075         app.TmaqmedLabel.Text='선택한 부품의 평균 온도 (°C)';
2076         app.TmaqminLabel.Text='선택한 부품의 최저 온도 (°C)';
2077         app.TmaqmaxLabel.Text='선택한 부품의 최고 온도 (°C)';
2078         app.PorcadazonaLabel.Text='각 영역별';
2079         app.Disp.Value='선택하세요';
2080         app.ModoseL.Value='선택하세요';
2081         app.siono.Value='선택하세요';
2082     end
2083
2084     startupFcn(app)
2085     end
2086 end
2087
2088 % Component initialization
2089 methods (Access = private)
2090
2091 % Create UIFigure and components
2092 function createComponents(app)
```

```
2093
2094     % Create ThermoEDUIFigure and hide until all components are created
2095     app.ThermoEDUIFigure = uifigure('Visible', 'off');
2096     app.ThermoEDUIFigure.Color = [0.9804 0.6902 0.1412];
2097     app.ThermoEDUIFigure.Position = [100 100 708 759];
2098     app.ThermoEDUIFigure.Name = 'Thermo ED';
2099     app.ThermoEDUIFigure.Icon = 'icono_app.jpg';
2100     app.ThermoEDUIFigure.Resize = 'off';
2101
2102     % Create IMPORTARDATOSButton
2103     app.IMPORTARDATOSButton = uibutton(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2104     app.IMPORTARDATOSButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @IMPORTARDATOSButtonPushed, true);
2105     app.IMPORTARDATOSButton.BackgroundColor = [0.9608 0.3686 0.1294];
2106     app.IMPORTARDATOSButton.FontName = 'Caladea';
2107     app.IMPORTARDATOSButton.FontSize = 15;
2108     app.IMPORTARDATOSButton.FontWeight = 'bold';
2109     app.IMPORTARDATOSButton.Position = [270 673 170 27];
2110     app.IMPORTARDATOSButton.Text = 'IMPORTAR DATOS';
2111
2112     % Create Instruction
2113     app.Instruction = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2114     app.Instruction.HorizontalAlignment = 'center';
2115     app.Instruction.WordWrap = 'on';
2116     app.Instruction.FontName = 'Candara';
2117     app.Instruction.FontSize = 15;
2118     app.Instruction.FontWeight = 'bold';
2119     app.Instruction.Position = [161 708 388 42];
2120     app.Instruction.Text = 'Pulse el botón "IMPORTAR DATOS" y seleccione el archivo de los datos de la imagen que desee visualizar';
2121
2122     % Create NumInterp
2123     app.NumInterp = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2124     app.NumInterp.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2125     app.NumInterp.Position = [407 611 25 22];
2126
2127     % Create MostImDat
2128     app.MostImDat = uibutton(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2129     app.MostImDat.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @MostImDatPushed, true);
2130     app.MostImDat.WordWrap = 'on';
2131     app.MostImDat.BackgroundColor = [0.6392 0.6902 0.7412];
2132     app.MostImDat.FontName = 'Caladea';
2133     app.MostImDat.FontSize = 15;
2134     app.MostImDat.FontWeight = 'bold';
2135     app.MostImDat.Position = [139 335 432 55];
2136     app.MostImDat.Text = 'Mostrar la imagen e información de los datos seleccionados';
2137
2138     % Create ModoSel
2139     app.ModoSel = uidropdown(app.ThermoEDUIFigure);
2140     app.ModoSel.Items = {'Seleccione', 'Punto/s', 'Zona cuadrada'};
2141     app.ModoSel.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @ModoSelValueChanged, true);
2142     app.ModoSel.FontName = 'Caladea';
2143     app.ModoSel.FontSize = 15;
2144     app.ModoSel.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
```

```
2145     app.ModoSel.Position = [224 581 193 22];
2146     app.ModoSel.Value = 'Seleccione';
2147
2148     % Create Tolerancia
2149     app.Tolerancia = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2150     app.Tolerancia.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2151     app.Tolerancia.Position = [434 402 45 22];
2152
2153     % Create Tselmed
2154     app.Tselmed = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2155     app.Tselmed.Editable = 'off';
2156     app.Tselmed.FontName = 'Caladea';
2157     app.Tselmed.FontWeight = 'bold';
2158     app.Tselmed.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2159     app.Tselmed.Position = [575 240 66 22];
2160
2161     % Create Tselmin
2162     app.Tselmin = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2163     app.Tselmin.Editable = 'off';
2164     app.Tselmin.FontName = 'Caladea';
2165     app.Tselmin.FontWeight = 'bold';
2166     app.Tselmin.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2167     app.Tselmin.Position = [575 211 66 22];
2168
2169     % Create Tselmax
2170     app.Tselmax = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2171     app.Tselmax.Editable = 'off';
2172     app.Tselmax.FontName = 'Caladea';
2173     app.Tselmax.FontWeight = 'bold';
2174     app.Tselmax.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2175     app.Tselmax.Position = [575 182 66 22];
2176
2177     % Create InfoDatosSel
2178     app.InfoDatosSel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2179     app.InfoDatosSel.BackgroundColor = [0.9608 0.3686 0.1294];
2180     app.InfoDatosSel.HorizontalAlignment = 'center';
2181     app.InfoDatosSel.FontName = 'Caladea';
2182     app.InfoDatosSel.FontSize = 20;
2183     app.InfoDatosSel.FontWeight = 'bold';
2184     app.InfoDatosSel.Position = [128 275 439 35];
2185     app.InfoDatosSel.Text = 'INFORMACIÓN DE LOS DATOS SELECCIONADOS';
2186
2187     % Create ModoInstruc
2188     app.ModoInstruc = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2189     app.ModoInstruc.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2190     app.ModoInstruc.HorizontalAlignment = 'center';
2191     app.ModoInstruc.WordWrap = 'on';
2192     app.ModoInstruc.FontName = 'Caladea';
2193     app.ModoInstruc.FontSize = 15;
2194     app.ModoInstruc.FontColor = [0.7412 0.102 0.102];
2195     app.ModoInstruc.Position = [125 535 446 37];
2196     app.ModoInstruc.Text = '';
2197
2198     % Create Disp
2199     app.Disp = uidropdown(app.ThermoEDUIFigure);
2200     app.Disp.Items = {'Seleccione', 'Máquina Eléctrica', 'Máquina de
CC', 'Convertidor de Potencia', 'Fuente de CC', 'Resistencias añadidas al
estátor'};
```

```
2201         app.Disp.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, ↵
@DispValueChanged, true);
2202         app.Disp.FontName = 'Caladea';
2203         app.Disp.FontSize = 15;
2204         app.Disp.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2205         app.Disp.Position = [482 644 207 22];
2206         app.Disp.Value = 'Seleccione';
2207
2208         % Create siono
2209         app.siono = uiddropdown(app.ThermoEDUIFigure);
2210         app.siono.Items = {'Seleccione', 'Sí', 'No'};
2211         app.siono.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, ↵
@sionoValueChanged, true);
2212         app.siono.FontName = 'Caladea';
2213         app.siono.FontSize = 15;
2214         app.siono.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2215         app.siono.Position = [458 506 139 22];
2216         app.siono.Value = 'Seleccione';
2217
2218         % Create EliminarZonas
2219         app.EliminarZonas = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2220         app.EliminarZonas.BackgroundColor = [0.9098 0.9294 0.949];
2221         app.EliminarZonas.HorizontalAlignment = 'center';
2222         app.EliminarZonas.WordWrap = 'on';
2223         app.EliminarZonas.FontName = 'Caladea';
2224         app.EliminarZonas.FontSize = 15;
2225         app.EliminarZonas.FontColor = [0.7412 0.102 0.102];
2226         app.EliminarZonas.Position = [125 436 446 61];
2227         app.EliminarZonas.Text = '';
2228
2229         % Create Porcadazona
2230         app.Porcadazona = uitextarea(app.ThermoEDUIFigure);
2231         app.Porcadazona.Editable = 'off';
2232         app.Porcadazona.HorizontalAlignment = 'center';
2233         app.Porcadazona.FontName = 'Caladea';
2234         app.Porcadazona.FontSize = 15;
2235         app.Porcadazona.FontColor = [0.7412 0.102 0.102];
2236         app.Porcadazona.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2237         app.Porcadazona.Position = [161 54 480 25];
2238
2239         % Create Restart
2240         app.Restart = uibutton(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2241         app.Restart.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, ↵
@RestartButtonPushed, true);
2242         app.Restart.BackgroundColor = [0.6392 0.6902 0.7412];
2243         app.Restart.FontName = 'Caladea';
2244         app.Restart.FontSize = 15;
2245         app.Restart.FontWeight = 'bold';
2246         app.Restart.Position = [284 12 142 27];
2247         app.Restart.Text = 'REINICIAR LA APP';
2248
2249         % Create Tmaqmed
2250         app.Tmaqmed = uieditfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2251         app.Tmaqmed.Editable = 'off';
2252         app.Tmaqmed.FontName = 'Caladea';
2253         app.Tmaqmed.FontWeight = 'bold';
2254         app.Tmaqmed.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2255         app.Tmaqmed.Position = [575 153 66 22];
```

```
2256
2257     % Create Tmaqmin
2258     app.Tmaqmin = uicontrolfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2259     app.Tmaqmin.Editable = 'off';
2260     app.Tmaqmin.FontName = 'Caladea';
2261     app.Tmaqmin.FontWeight = 'bold';
2262     app.Tmaqmin.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2263     app.Tmaqmin.Position = [575 124 66 22];
2264
2265     % Create Tmaqmax
2266     app.Tmaqmax = uicontrolfield(app.ThermoEDUIFigure, 'numeric');
2267     app.Tmaqmax.Editable = 'off';
2268     app.Tmaqmax.FontName = 'Caladea';
2269     app.Tmaqmax.FontWeight = 'bold';
2270     app.Tmaqmax.BackgroundColor = [1 1 0.6706];
2271     app.Tmaqmax.Position = [575 93 66 22];
2272
2273     % Create ButtonESP
2274     app.ButtonESP = uicontrol(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2275     app.ButtonESP.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @
2276     @ButtonESPClicked, true);
2277     app.ButtonESP.Icon = 'sp.png';
2278     app.ButtonESP.IconAlignment = 'center';
2279     app.ButtonESP.Position = [12 722 41 28];
2280     app.ButtonESP.Text = '';
2281
2282     % Create ButtonENG
2283     app.ButtonENG = uicontrol(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2284     app.ButtonENG.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @
2285     @ButtonENGClicked, true);
2286     app.ButtonENG.Icon = 'uk.png';
2287     app.ButtonENG.IconAlignment = 'center';
2288     app.ButtonENG.Position = [63 722 41 28];
2289     app.ButtonENG.Text = '';
2290
2291     % Create ButtonKOR
2292     app.ButtonKOR = uicontrol(app.ThermoEDUIFigure, 'push');
2293     app.ButtonKOR.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @
2294     @ButtonKORClicked, true);
2295     app.ButtonKOR.Icon = 'kor.png';
2296     app.ButtonKOR.IconAlignment = 'center';
2297     app.ButtonKOR.Position = [114 722 41 28];
2298     app.ButtonKOR.Text = '';
2299
2300     % Create ESPAOLLabel
2301     app.ESPAOLLabel = uicontrol(app.ThermoEDUIFigure);
2302     app.ESPAOLLabel.HorizontalAlignment = 'center';
2303     app.ESPAOLLabel.FontName = 'Century Gothic';
2304     app.ESPAOLLabel.FontSize = 10;
2305     app.ESPAOLLabel.FontWeight = 'bold';
2306     app.ESPAOLLabel.Position = [1 695 63 23];
2307     app.ESPAOLLabel.Text = 'ESPAÑOL';
2308
2309     % Create KORLabel
2310     app.KORLabel = uicontrol(app.ThermoEDUIFigure);
2311     app.KORLabel.HorizontalAlignment = 'center';
2312     app.KORLabel.FontName = 'Century Gothic';
2313     app.KORLabel.FontSize = 10;
```

```
2311     app.KORLabel.FontWeight = 'bold';
2312     app.KORLabel.Position = [114 695 41 23];
2313     app.KORLabel.Text = '한국어';
2314
2315     % Create ENGLISHLabel
2316     app.ENGLISHLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2317     app.ENGLISHLabel.HorizontalAlignment = 'center';
2318     app.ENGLISHLabel.FontName = 'Century Gothic';
2319     app.ENGLISHLabel.FontSize = 10;
2320     app.ENGLISHLabel.FontWeight = 'bold';
2321     app.ENGLISHLabel.Position = [52 695 63 23];
2322     app.ENGLISHLabel.Text = 'ENGLISH';
2323
2324     % Create DispLabel
2325     app.DispLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2326     app.DispLabel.FontName = 'Caladea';
2327     app.DispLabel.FontSize = 15;
2328     app.DispLabel.Position = [33 644 446 22];
2329     app.DispLabel.Text = '¿A qué componente corresponde la imagen que
desea visualizar?';
2330
2331     % Create NumInterpLabel
2332     app.NumInterpLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2333     app.NumInterpLabel.FontName = 'Caladea';
2334     app.NumInterpLabel.FontSize = 15;
2335     app.NumInterpLabel.Position = [33 611 361 22];
2336     app.NumInterpLabel.Text = 'Número de interpolaciones en los datos
de la imagen';
2337
2338     % Create ModoSelLabel
2339     app.ModoSelLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2340     app.ModoSelLabel.FontName = 'Caladea';
2341     app.ModoSelLabel.FontSize = 15;
2342     app.ModoSelLabel.Position = [33 581 192 22];
2343     app.ModoSelLabel.Text = 'Modo de selección de datos';
2344
2345     % Create sionoLabel
2346     app.sionoLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2347     app.sionoLabel.FontName = 'Caladea';
2348     app.sionoLabel.FontSize = 15;
2349     app.sionoLabel.Position = [30 506 402 22];
2350     app.sionoLabel.Text = '¿Desea eliminar las zonas que no
pertenezcan al dispositivo? ';
2351
2352     % Create ToleranciaLabel
2353     app.ToleranciaLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2354     app.ToleranciaLabel.FontName = 'Caladea';
2355     app.ToleranciaLabel.FontSize = 15;
2356     app.ToleranciaLabel.Position = [33 402 408 22];
2357     app.ToleranciaLabel.Text = 'Establecer el valor de la tolerancia
para marcar la zona/s (°C) ';
2358
2359     % Create TselmedLabel
2360     app.TselmedLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2361     app.TselmedLabel.FontName = 'Caladea';
2362     app.TselmedLabel.FontSize = 15;
2363     app.TselmedLabel.FontWeight = 'bold';
2364     app.TselmedLabel.Position = [55 240 509 22];
```

```
2365         app.TselmedLabel.Text = 'Temperatura media de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2366
2367         % Create TselminLabel
2368         app.TselminLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2369         app.TselminLabel.FontName = 'Caladea';
2370         app.TselminLabel.FontSize = 15;
2371         app.TselminLabel.FontWeight = 'bold';
2372         app.TselminLabel.Position = [55 211 519 22];
2373         app.TselminLabel.Text = 'Temperatura mínima de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2374
2375         % Create TselmaxLabel
2376         app.TselmaxLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2377         app.TselmaxLabel.FontName = 'Caladea';
2378         app.TselmaxLabel.FontSize = 15;
2379         app.TselmaxLabel.FontWeight = 'bold';
2380         app.TselmaxLabel.Position = [55 182 521 22];
2381         app.TselmaxLabel.Text = 'Temperatura máxima de la zona seleccionada o puntos seleccionados (°C)';
2382
2383         % Create TmaqmedLabel
2384         app.TmaqmedLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2385         app.TmaqmedLabel.FontName = 'Caladea';
2386         app.TmaqmedLabel.FontSize = 15;
2387         app.TmaqmedLabel.FontWeight = 'bold';
2388         app.TmaqmedLabel.Position = [55 153 345 22];
2389         app.TmaqmedLabel.Text = 'Temperatura media del componente elegido (°C)';
2390
2391         % Create TmaqminLabel
2392         app.TmaqminLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2393         app.TmaqminLabel.FontName = 'Caladea';
2394         app.TmaqminLabel.FontSize = 15;
2395         app.TmaqminLabel.FontWeight = 'bold';
2396         app.TmaqminLabel.Position = [55 124 356 22];
2397         app.TmaqminLabel.Text = 'Temperatura mínima del componente elegido (°C)';
2398
2399         % Create TmaqmaxLabel
2400         app.TmaqmaxLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2401         app.TmaqmaxLabel.FontName = 'Caladea';
2402         app.TmaqmaxLabel.FontSize = 15;
2403         app.TmaqmaxLabel.FontWeight = 'bold';
2404         app.TmaqmaxLabel.Position = [55 93 358 22];
2405         app.TmaqmaxLabel.Text = 'Temperatura máxima del componente elegido (°C)';
2406
2407         % Create PorcadazonaLabel
2408         app.PorcadazonaLabel = uilabel(app.ThermoEDUIFigure);
2409         app.PorcadazonaLabel.FontName = 'Caladea';
2410         app.PorcadazonaLabel.FontSize = 15;
2411         app.PorcadazonaLabel.FontWeight = 'bold';
2412         app.PorcadazonaLabel.Position = [55 55 101 22];
2413         app.PorcadazonaLabel.Text = 'Por cada zona';
2414
2415         % Show the figure after all components are created
2416         app.ThermoEDUIFigure.Visible = 'on';
```

```
2417     end
2418 end
2419
2420 % App creation and deletion
2421 methods (Access = public)
2422
2423     % Construct app
2424     function app = ThermoED_code
2425
2426         % Create UIFigure and components
2427         createComponents(app)
2428
2429         % Register the app with App Designer
2430         registerApp(app, app.ThermoEDUIFigure)
2431
2432         % Execute the startup function
2433         runStartupFcn(app, @startupFcn)
2434
2435         if nargin == 0
2436             clear app
2437         end
2438     end
2439
2440 % Code that executes before app deletion
2441 function delete(app)
2442
2443     % Delete UIFigure when app is deleted
2444     delete(app.ThermoEDUIFigure)
2445 end
2446 end
2447 end
```