

# E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación

Desarrollo e implementación de un  
procedimiento operativo para el estudio del  
rendimiento y validación de motores  
eléctricos en sistemas de propulsión de  
vehículos eléctricos.



Grado en Ingeniería Eléctrica y  
Electrónica

Trabajo Fin de Grado

Alumno: Ailán Serrano Serrano

Tutor: Pedro María Gil Izco

Pamplona, 8 de junio de 2022

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia el apoyo que ha mostrado hacia mi durante el transcurso de la carrera y también a mis amigos los cuales me han hecho el camino más fácil.

También agradecer a mis compañeros con los que he compartido tantísimas horas estudiando y realizando proyectos.

Por último, agradecer a la UPNA y a NAITEC la oportunidad de trabajar en un tema tan interesante y por prestarme los medios necesarios. Así agradecer a mi tutor Peio Gil y a mi tutor en NAITEC Iñaki Arregui el apoyo y ayuda prestada.

## Índice

1.RESUMEN .....	9
1.1.Introducción .....	9
1.2.Objetivos.....	9
1.3.Estructura .....	10
2.ESTADO DEL ARTE .....	11
2.1Definición y clasificación .....	11
2.2.Arquitectura del VE .....	12
2.2.1.Cargador .....	13
2.2.2.Batería.....	14
2.2.3.Inversor .....	15
2.2.4.Motor .....	16
2.3.Mapas de eficiencia .....	19
4.NORMATIVA VALIDACIÓN EXPERIMENTAL.....	22
4.1.Baterías .....	22
4.2.Sistema de propulsión .....	25
4.2.1.Resumen ISO 21782.....	25
5.DISEÑO DE BANCO DE ENSAYOS PARA MOTOR ELÉCTRICO .....	27
5.1.Diseño mecánico .....	27
5.2.Instrumentación .....	31
5.2.1.GEN7tA.....	31
5.2.2.ID600.....	34
5.2.3.Sensor de par Lorenz.....	35
5.2.4.Termopar tipo K.....	35
5.3.Capacidades del banco .....	36
5.4.Medidas de seguridad.....	37
6.EJECUCIÓN ENSAYOS SEGÚN ISO 21782 Y RESULTADOS .....	39

6.1.Condiciones generales .....	39
6.1.1Puntos de funcionamiento.....	40
6.2.Ensayos de rendimiento del sistema motor .....	43
6.2.1.Ensayo 1: Pérdidas totales y eficiencia del sistema motor .....	44
6.2.2.Ensayo 2: Aumento de temperatura del sistema motor.....	46
6.2.3.Ensayo 3: Par característico del sistema motor .....	47
6.2.4.Ensayo 4: Rizado de par .....	49
6.3.Ensayos de rendimiento del motor e inversor .....	50
6.3.1.Ensayo 5: Rendimiento y eficiencia del motor.....	50
6.3.2.Ensayo 6: Aumento de la temperatura del motor .....	52
6.3.3.Ensayo 7: Par característico del motor.....	54
6.3.4.Ensayo 8: Efecto “Cogging” .....	55
6.3.5.Ensayo 9: Pérdidas, eficiencia y ratio de conversión del inversor ....	56
6.3.6Ensayo 10: Aumento de temperatura del inversor .....	58
6.3.7.Ensayo 11: Pérdidas, eficiencia y ratio de conversión del chopper..	59
6.3.8.Ensayo 12: Aumento de temperatura del chopper .....	61
6.4.Ensayos de prueba de carga operativa del sistema motor .....	62
6.4.1.Ensayo 13: Ensayo de resistencia del sistema motor .....	62
6.4.2.Ensayo 14: Picos de tensión del sistema motor .....	65
6.4.3.Ensayo 15: Overspeed.....	66
6.5.Ensayos de operación en carga del motor e inversor .....	68
6.5.1.Ensayo 16: Resistencia de aceleración y desaceleración.....	68
6.5.2.Ensayo 17: Resistencia al par máximo del motor.....	70
6.5.3.Ensayo 18: Resistencia del motor al overspeed .....	73
6.5.4.Ensayo 19: Resistencia del inversor .....	75
6.5.5.Ensayo 20: Fuerza de rotura del rotor.....	77
7.MAPAS DE EFICIENCIA.....	80

8.CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS..... 82

## Índice de figuras

Fig. 1: Partes tren de potencia de VE [3].....	13
Fig. 2: Enchufe Tipo 1, Tipo 2 y CSS Combo 2 [4].....	13
Fig. 3: Batería eléctrica en coche Volkswagen [7].....	15
Fig. 4: Comparación corriente continua y alterna [8].....	15
Fig. 5: Inversor de un vehículo eléctrico [9].....	16
Fig. 6: Topología inversor vehículo eléctrico [10].....	16
Fig. 7: Partes principales de un motor [11].....	17
Fig. 8: <i>Motor asíncrono</i> [12].....	18
Fig. 9: Motor síncrono de imanes permanentes [12].....	18
Fig. 10: <i>Motor de reluctancia variable</i> [12].....	19
Fig. 11: <i>Motor brushless</i> [12].....	19
Fig. 12: Flujo de potencias en un motor eléctrico [13].....	21
Fig. 13: Mapa de eficiencia motor VE (HBM) [13].....	21
Fig. 14: Resumen de ensayos ISO 21782.....	28
Fig. 15: Motor dinamométrico del banco piloto.....	29
Fig. 16: Placa de características del motor dinamométrico.....	29
Fig. 17: Sensor de par Lorenz.....	29
Fig. 18: Servomotor bajo estudio.....	30
Fig. 19: Placa de características del servomotor.....	30
Fig. 20: Cardan del banco piloto.....	31
Fig. 21: GEN7tA.....	32
Fig. 22: Conexiones GEN7tA.....	33
Fig. 23: Pantalla de inicio de Perception.....	33
Fig. 24: Transductor de corriente.....	34
Fig. 25: Interfaz transductores de corriente.....	35
Fig. 26: Características del sensor de par Lorenz.....	35

Fig. 27: Banco de ensayos .....	37
Fig. 28: Setas de emergencia.....	38
Fig. 29: Jaula de protección .....	38
Fig. 30: <i>Puntos de funcionamiento</i> [14].....	40
Fig. 31: <i>Esquema ensayo 1</i> [14].....	44
Fig. 32: <i>Esquema ensayo 2</i> [14].....	46
Fig. 33: <i>Esquema ensayo 3</i> [14].....	48
Fig. 34: <i>Esquema ensayo 4</i> [14].....	49
Fig. 35: <i>Esquema ensayo 5</i> [14].....	50
Fig. 36: <i>Esquema ensayo 6</i> [14].....	53
Fig. 37: <i>Esquema ensayo 6</i> [14].....	54
Fig. 38: <i>Esquema ensayo 8</i> [14].....	55
Fig. 39: <i>Esquema ensayo 9</i> [14].....	56
Fig. 40: <i>Esquema ensayo 10</i> [14].....	58
Fig. 41: <i>Esquema ensayo 11</i> [14].....	60
Fig. 42: <i>Esquema ensayo 12</i> [14].....	61
Fig. 43: <i>Esquema ensayo 13</i> [14].....	63
Fig. 44: <i>Modos de operación ensayo 13</i> [14].....	63
Fig. 45: <i>Secuencia de ciclos ensayo 13</i> [14] .....	64
Fig. 46: <i>Esquema ensayo 14</i> [14].....	66
Fig. 47: <i>Esquema ensayo 15</i> [14].....	67
Fig. 48: <i>Esquema ensayo 16</i> [14].....	68
Fig. 49: Patrón de ensayo 16 según el tipo de motor [14] .....	69
Fig. 50: <i>Esquema ensayo 17</i> [14].....	71
Fig. 51: Representación de ciclo de par ensayo 17 [14].....	71
Fig. 52: Representación completa ensayo 17 [9] .....	72
Fig. 53: <i>Esquemas ensayo 18</i> [14].....	73



Fig. 54: <i>Esquemas ensayo 19</i> [14].....	75
Fig. 55: Representación de un ciclo ensayo 19 [14].....	76
Fig. 56: <i>Esquema ensayo 20</i> [14].....	78
Fig. 57: Puntos de funcionamiento para el mapa de eficiencia del servomotor	80
Fig. 58: Mapa rendimiento servomotor .....	81

## 1.RESUMEN

### 1.1.Introducción

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el centro tecnológico NAITEC, en específico, en su sede de Pamplona. Este proyecto, surge de una necesidad del centro de disponer de una bancada con la que validar los elementos eléctricos que componen un tren de potencia del vehículo de propulsión eléctrico.

Esto viene dado por el contexto actual de la industria del automóvil dominado por la continua innovación y creciente industrialización de nuevos modelos y conceptos de VE (vehículo eléctrico), resulta fundamental contar con instalaciones y procedimientos de prueba que permitan caracterizar, probar y validar los distintos componentes que forman el tren de potencia de estos vehículos. La posibilidad de poder probar y evaluar estos componentes permiten una mejor evolución en las prestaciones como pueden ser rendimiento, control, dimensionado, etc. Al igual que un avance en los procesos de innovación y desarrollo de nuevos componentes destinados a mejorar y economizar el desarrollo de estos trenes de potencia.

Todo esto, sumado al estudio de mercado, en el que se pudo observar la baja cantidad de bancos que realicen este tipo de pruebas en el territorio nacional, haciendo que los fabricantes del sector tengan que validar sus componentes en el extranjero. Hacen que este proyecto sea una inversión importante para el futuro del centro y que puede generar un gran ingreso económicos y un avance en la innovación de cara al futuro.

### 1.2.Objetivos

Desarrollar e implementar un procedimiento operativo, que permita efectuar la medición experimental de los principales parámetros que definen el comportamiento de un motor en un sistema de propulsión de un vehículo eléctrico, para la determinación de mapas de eficiencia, determinación de pérdidas, rizado de par, etc. Por otro lado, la explicación de los ensayos correspondientes a la normativa ISO 21782 para obtener la validación de componentes según esta norma.

Todo esto, mediante el estudio de dicha normativa y el diseño de un primer banco para la realización de algunos de los ensayos que define la norma, así como la realización de mapas de eficiencia.

### 1.3.Estructura

En este punto, se va a realizar un resumen de la estructura que se va a seguir en la realización del presente trabajo, sobre la validación y el estudio del rendimiento de trenes de potencia en el vehículo eléctrico. Primero se empezará por el estado del arte, donde se explicará cómo se encuentra la actualidad en cuanto a la estructura, elementos y el estudio de los trenes de potencia. Tras esto, se explicará el estudio realizado sobre la normativa internacional de validación de los distintos elementos que lo componen.

Una vez explicado el estudio, se comentará el diseño de banco elegido para la realización de los ensayos y de la instrumentación utilizada para adquirir las distintas variables a medir.

Por último, se explicarán uno a uno los ensayos que describe la norma ISO 21782, la cual es la norma elegida y en la cual NAITEC se quiere validar. Además de mostrar las primeras medidas realizadas con el banco diseñado, comentar las conclusiones a las que se ha llegado con la realización de este proyecto junto con los errores y líneas futuras a seguir.

## 2.ESTADO DEL ARTE

### 2.1.Definición y clasificación

En la actualidad existen diferentes tipos de vehículo eléctrico, todos estos cumplen la siguiente definición: “El vehículo eléctrico es el propulsado por uno o más motores eléctricos, usando energía eléctrica almacenada en baterías recargables que se transforma en energía cinética por medio de interacciones electromagnéticas” [1].

Dentro de la categoría de VE podemos clasificarlos en 4 grupos principales. Estos grupos se diferencian unos de otros por el tipo de electrificación que tienen [2].

- Vehículo eléctrico de baterías (BEV): su fuente de energía son únicamente sus baterías recargables las cuales hay que enchufar para recargarlas. Algunos vehículos de este tipo tienen un sistema de recuperación de energía que actúa en las frenadas o desaceleraciones, de esta manera se consigue dar un aumento a su autonomía.
- Vehículo eléctrico de autonomía extendida (EREV): dispone de un motor de combustión, que normalmente suele ser de gasolina y uno o varios motores eléctricos. La peculiaridad de este vehículo es que el motor de combustión no es utilizado para generar tracción en las ruedas, sino que es utilizado como generador eléctrico para recargar la batería, que, a su vez, es la que se encarga de suministrar energía a los motores eléctricos que generan tracción a las ruedas.
- Vehículo híbrido enchufable (PHEV): cuenta con un motor de combustión, en la mayoría de los casos suele ser un motor de gasolina, acompañado de uno o varios motores eléctricos. Se denomina híbrido porque ambos motores son capaces de mover el vehículo por sí mismo, solos o combinados. Al motor eléctrico se le suministra la electricidad por medio de una batería, que normalmente suele ser de poca capacidad, con una autonomía que no suele ser superior a los cincuenta kilómetros. Esta

batería puede recargarse a través de la red eléctrica y permite que el vehículo funcione como uno puramente eléctrico en distancias cortas.

- Vehículo híbrido no enchufable (HEV): presenta un sistema muy parecido al de los híbridos enchufables, con la diferencia de que la batería que tiene este tipo de vehículo tiene una capacidad bastante reducida para alimentar al motor eléctrico y solo es posible recargar con los sistemas de frenada, desaceleraciones y por supuesto con el uso del motor de combustión.

También se podría considerar otro modelo, a pesar de no disponer de batería recargable puede considerarse eléctrico, aunque no cumpla la definición. Vehículo eléctrico de pila de hidrogeno (FCEV), este vehículo no dispone de una batería recargable, sino una pila de combustible, normalmente de hidrógeno, de donde se obtiene la energía para mover el vehículo. La generación de electricidad se lleva a cabo mediante una reacción química por la que el hidrógeno se oxida perdiendo electrones que son encapsulados para generar la energía eléctrica que posteriormente va a impulsar el vehículo.

## 2.2.Arquitectura del VE

El sistema de propulsión eléctrico está formado por tres elementos principales: fuente de alimentación, convertidor de potencia y motor eléctrico.

Cada uno de estos componentes tiene su propia eficiencia la cual afecta a la eficiencia y autonomía del VE. En la siguiente figura se pueden ver situadas en un vehículo cada una de estas partes

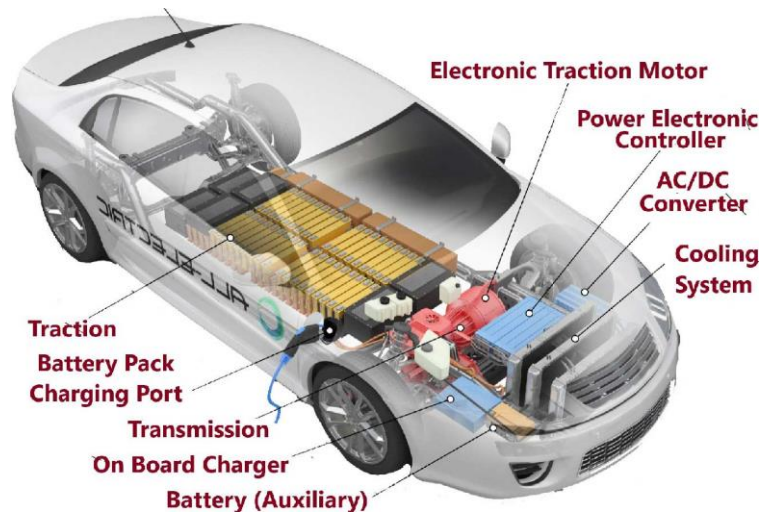


Fig. 1: Partes tren de potencia de VE [3]

Se va a explicar cada una de las partes que componen el tren de potencia en el sentido que entra la potencia al vehículo.

### 2.2.1.Cargador

Es el encargado de alimentar la batería con corriente continua, transformando la corriente alterna que toma de la red eléctrica. En la actualidad existen 3 tipos de cargadores estandarizados: Tipo 1 (SAE J1722), el más antiguo; Tipo 2 (IEC 62196), el más común y Tipo CSS (Combined Charging System), este último es un tipo 2 con un conector en serie que se utiliza cuando se quieren realizar cargas rápidas, este tipo de cargador son los que traen los últimos modelos de EV. Estos 3 tipos son los más comunes en la actualidad en Europa [4].

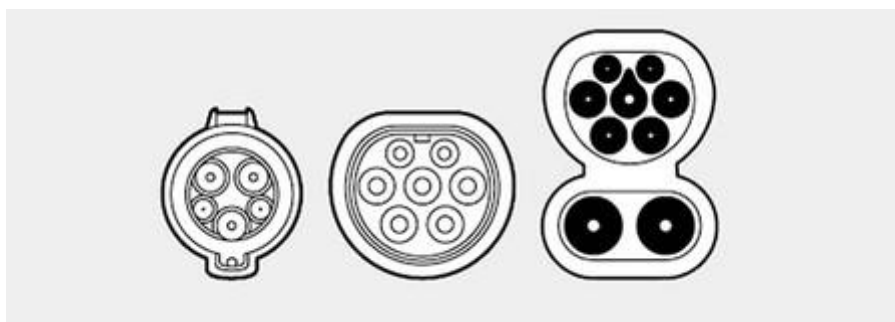


Fig. 2: Enchufe Tipo 1, Tipo 2 y CSS Combo 2 [4]

### 2.2.2.Batería

La batería moderna de un coche eléctrico es de iones de litio. En el interior de la celda los iones de litio con carga positiva son transportados por un electrolito líquido desde el ánodo hasta el cátodo a través de un separador. Este movimiento tiene como resultado la descarga de una corriente eléctrica. Esa electricidad se utiliza para alimentar el motor o los motores que impulsan las dos o las cuatro ruedas [5].

Este elemento es uno de los principales elementos del tren de potencia, gracias a los avances tecnológicos se está consiguiendo mejorar sus especificaciones y con ello unos mejores tiempos de carga y una mayor autonomía, llegando a autonomías de 770 kilómetros (Mercedes-Benz EQS).

Los factores que definen las principales características de una batería son los siguientes [6]:

- **Densidad energética.** Se expresa en Wh/kg (Watios-hora por kilogramo) y es la cantidad de energía que es capaz de almacenar en relación a su peso. Es el parámetro que más influye en autonomía y prestaciones.
- **Capacidad.** Expresado por el código 'CX Y Ah', donde CX es el tiempo de descarga y Ah (Amperios Hora) es la corriente de dicha descarga, siempre para un voltaje fijo.
- **Potencia.** Se expresa en W/kg y es la potencia que puede proporcionar cada kilo de peso de la batería.
- **Eficiencia de carga/descarga.** Es la relación entre la energía introducida durante la recarga y la que realmente entrega.
- **Ciclos de vida.** Las baterías pierden capacidad a medida que se recargan.
- **Velocidad de recarga.** Es el tiempo que necesita una batería para recuperar toda su energía.

La batería de un vehículo eléctrico viene situada en la parte inferior del vehículo de esta manera se consigue un centro de gravedad bajo, una gran

superficie donde situar este elemento, ya que es el más grande en dimensiones del tren de potencia y un mayor agarre del vehículo.

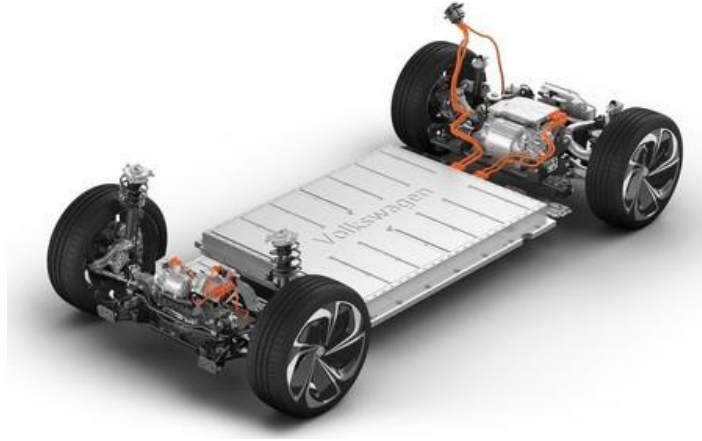


Fig. 3: Batería eléctrica en coche Volkswagen [7]

### 2.2.3. Inversor

Este elemento es el encargado de transformar la corriente continua que proviene de la batería a corriente alterna con la cual alimentar el motor, modificando el voltaje y señal según las necesidades de éste, en caso de disponer de freno regenerativo el inversor es el encargado de transformar también esa energía.

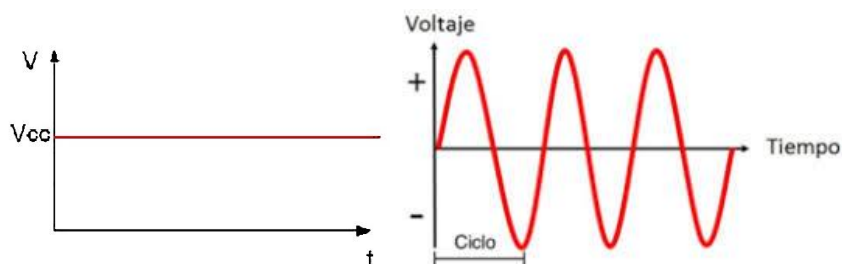


Fig. 4: Comparación corriente continua y alterna [8]

El inversor acciona el motor eléctrico, pero si el vehículo está frenando deja de entregar energía y, en consecuencia, deja de accionar el motor. En ese momento, ocurre que la energía cinética, proveniente del movimiento inercial sobre las ruedas, fuerza el motor a girar, y entonces este se comporta como un generador de energía eléctrica [9].



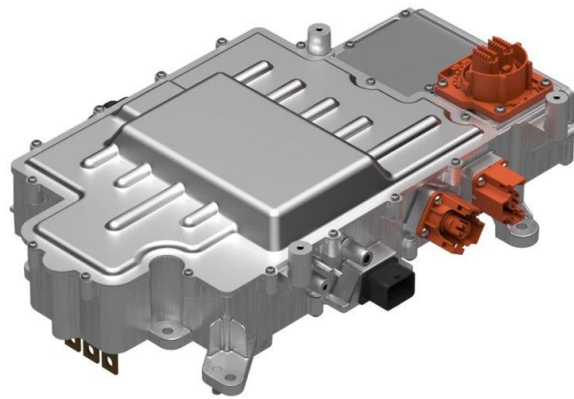


Fig. 5: Inversor de un vehículo eléctrico [9]

Cuando se acciona el pedal de freno de un vehículo eléctrico, la máquina eléctrica se comporta como generador y, por medio del inversor, se puede transferir la energía generada al banco de baterías. Entonces, de hecho, el inversor es un dispositivo bidireccional. Este proceso se llama “frenado regenerativo”, y permite incrementar la carga del banco de baterías [9].

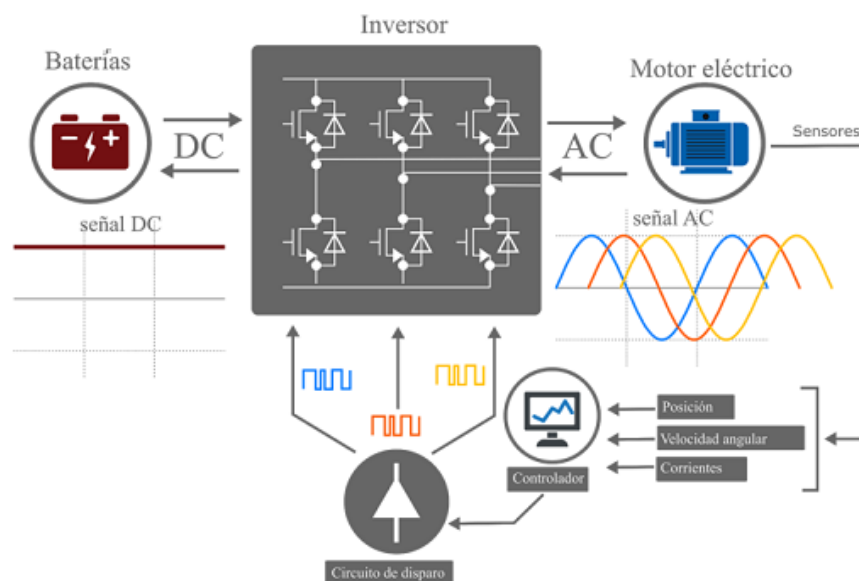


Fig. 6: Topología inversor vehículo eléctrico [10]

#### 2.2.4. Motor

Actualmente en el mundo del automovilismo eléctrico los motores más utilizados son:

- Motor asíncrono o de inducción

- Motor síncrono imanes permanentes
- Motor síncrono reluctancia variable
- Motor Brushless

Todos estos motores están compuestos por las mismas partes, lo que cambia de uno a otro es su modo de funcionamiento. Una de las partes principales es el rotor o también llamado inductor es la parte que permite al motor girar, en algunos casos lleva unas espiras a las que se llama el bobinado del motor. Otro elemento principal de un motor eléctrico es el estator, esta parte como su nombre indica se mantiene fija sin moverse, su movimiento es únicamente magnético y este movimiento magnético es el que hace girar al rotor. Finalmente, las escobillas y la carcasa o caja, las primeras se encargan de permitir que exista una conexión entre la parte giratoria y la parte fija del motor, este elemento puede no existir como en el motor brushless. La carcasa hace la función de protección del motor.

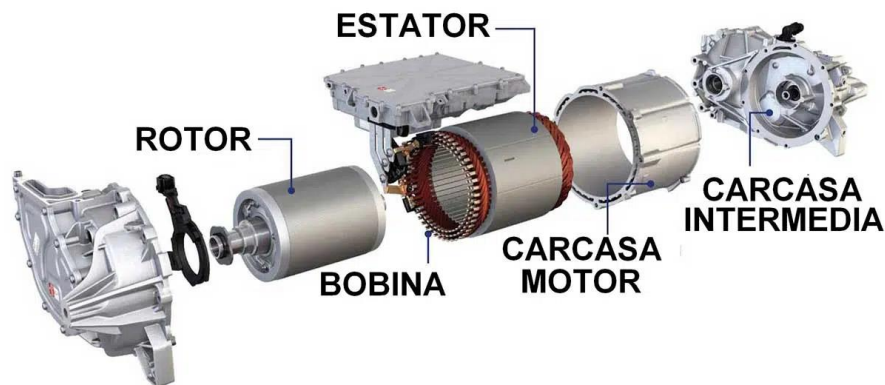


Fig. 7: Partes principales de un motor [11]

- Motor asíncrono o de inducción: el giro del rotor no va a la misma velocidad de giro del campo magnético producida por el estátor. Ofrece un coste muy contenido, además de poco ruido y vibraciones, siendo por tanto fiable y muy eficiente [12].

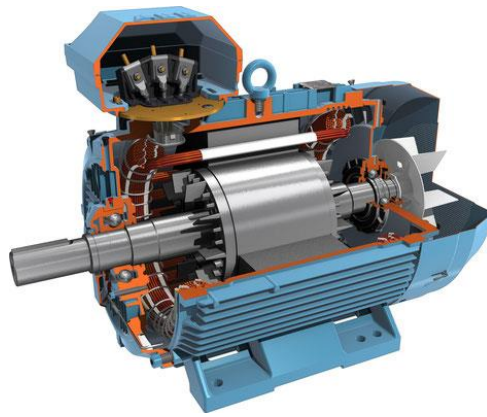


Fig. 8: *Motor asíncrono* [12]

- **Motor síncrono imanes permanentes:** pueden ser de flujo radial o axial, dependiendo de si la posición del campo magnético de inducción es perpendicular al eje de giro del rotor o puede integrarse en las ruedas. Este tipo de motor ofrece alto rendimiento, poco peso y tamaño contenido, siendo la velocidad del rotor constante [12].



Fig. 9: *Motor síncrono de imanes permanentes* [12]

- **Motor síncrono reluctancia variable:** en este tipo de motor eléctrico, la corriente se conmuta a través de bobinas que se encargan de crear un campo magnético giratorio. Debido a ello, los polos del rotor se atraen y crean un par que lo alimenta. Son motores robustos, que ofrecen un alto par y potencia, pero son económicos [12].

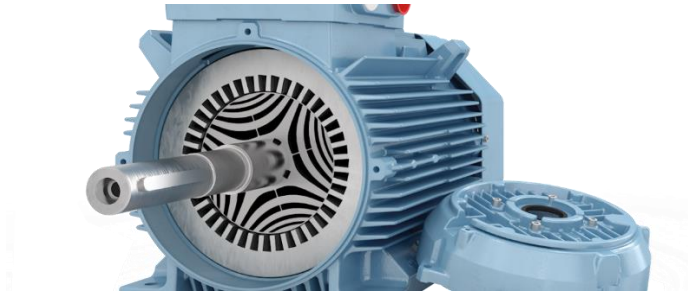


Fig. 10: *Motor de reluctancia variable* [12]

- **Motor Brushless:** imanes se sitúan en el rotor y se alimentan secuencialmente de cada fase del estátor. Suelen utilizarse en coches híbridos y son caros y poco potentes, pero ofrecen una gran solidez, sonoridad nula y mantenimiento inexistente [12].



Fig. 11: *Motor brushless* [12]

### 2.3. Mapas de eficiencia

Uno de los hitos que más se persigue en la actualidad en el mundo del VE es aumentar la autonomía del vehículo. Esto está directamente relacionado con el rendimiento del motor ya que contra mayor sea mayor autonomía tendrá el vehículo. Se habla del rendimiento del motor ya que su rendimiento suele ser en la mayoría de las ocasiones menor que el rendimiento del inversor y además presenta una mayor variabilidad dependiendo del punto de funcionamiento de este.

Es por esto por lo que cada vez son más solicitados los mapas de eficiencia en los centros de innovación y por parte de los fabricantes. Estos mapas dan una representación gráfica del rendimiento que tiene el motor en cada punto de trabajo en el que puede actuar y es una información muy útil e importante para realizar nuevas investigaciones y mejoras en el sector del motor eléctrico ya que se puede trabajar y estudiar sobre esos puntos en el que el rendimiento cae considerablemente.

La eficiencia viene determinada por las siguientes formulas.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad P_{loss} = P_{in} - P_{out}$$

*Formula 1: Rendimiento y Pérdidas*

Donde:

$\eta$ : Rendimiento

$P_{out}$ : Potencia de salida

$P_{in}$ : Potencia de entrada

$P_{loss}$ : Potencia de pérdidas

La potencia eléctrica de entrada es transformada en las pérdidas que se pierden en forma de calor y la potencia que realmente se aprovecha en el tren de potencia que es la potencia mecánica que es transmitida a las ruedas y permite que el vehículo se mueva.

Las pérdidas que se transforman en calor son las perdidas mecánicas debidas al rozamiento y movimiento del motor, las perdidas eléctricas debido a las partes resistivas y las perdidas magnéticas debidas a las corrientes inducidas sobre el material ferromagnético.

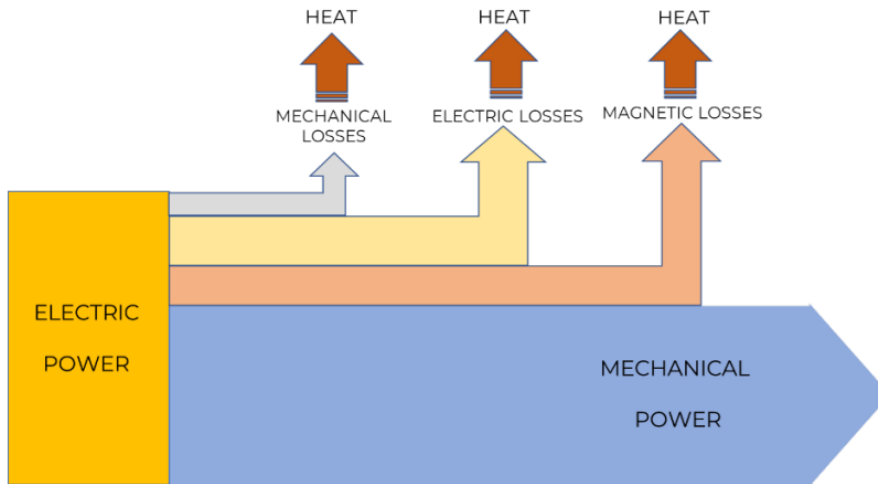


Fig. 12: Flujo de potencias en un motor eléctrico [13]

Calculando esta eficiencia en cada uno de los puntos de funcionamiento del motor se puede obtener el mapa de eficiencia. Este mapa permite en pocos segundos entender la eficiencia del motor en todos sus puntos de funcionamiento y es muy útil para el estudio y desarrollo de mejoras en el sector del motor eléctrico.

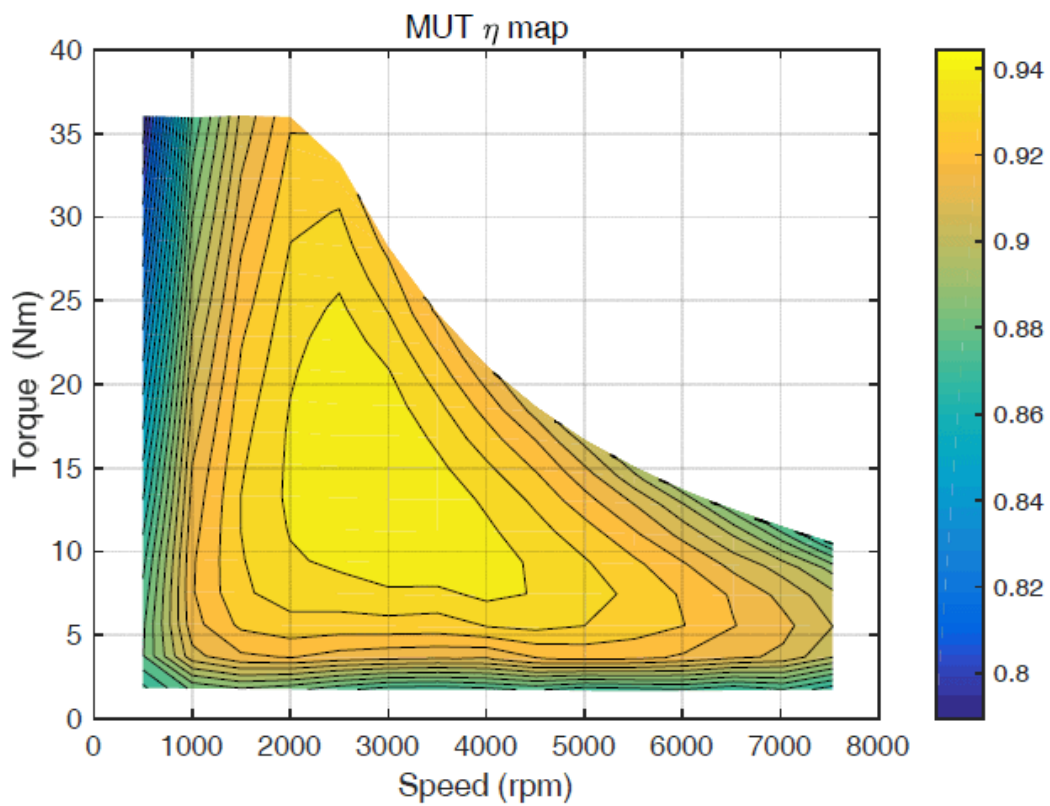


Fig. 13: Mapa de eficiencia motor VE (HBM) [13]

## 4.NORMATIVA VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Para poder realizar un método experimental de validación de componentes hay que enfocarse en cumplir una norma, en la cual se quiere validar los componentes que se ensayan con dicho método.

La elección de la norma en la que enfocar el método es muy importante, ya que cuando un cliente quiera validar sus componentes buscará validarlo en la normativa de mayor reconocimiento internacional para de esta manera poder comercializar su producto en la mayor parte del mundo. A no ser que sea para una función muy como son las que únicamente tienen validez en muy pocas regiones.

Dentro de la validación de componentes del sector del tren de potencia en vehículos eléctricos se puede optar por validar únicamente un componente o validar el tren completo. En este trabajo se ha hecho la investigación de ambas opciones. Por un lado, se ha estudiado la normativa en la validación de las baterías. Y, por otro lado, se ha estudiado la normativa en la validación del tren de potencia completo que es el objetivo principal y en el que se basa este trabajo.

### 4.1.Baterías

Dentro del estudio se ha investigado las principales normativas internacionales en la validación de baterías eléctricas. Muchas de ellas, comparten la gran mayoría de los ensayos. Dentro del estudio realizado se han clasificado estas normativas en la validación del comportamiento eléctrico de la batería como son la IEC 62660 o la ISO 12405 y el otro grupo es la validación de la seguridad a la hora de transportar y almacenar las baterías como son la SAE J2464 o la UL 2580.

La normativa estudiada en el ámbito de validación de baterías está representada en la siguiente tabla:

TABLA I

## NORMATIVA ESTUDIADA EN RELACIÓN CON LA VALIDACIÓN DE BATERÍAS

<b>NORMATIVA DE BATERÍAS RELACIONADA CON EL BANCO POWER TRAIN</b>	
<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>ISO 12405-4:2018</b>	Vehículos de propulsión eléctrica de carretera - Especificación de prueba para paquetes y sistemas de tracción de baterías de iones de litio.
<b>ISO 6469-1:2019</b>	Vehículos de propulsión eléctrica de carretera. Especificaciones de seguridad. Parte 1: Sistema de almacenamiento de energía recargable (RESS).
<b>UN ECE R100</b>	Revisión para fabricantes de baterías de energía recargables.
<b>UN 38.3</b>	Procedimiento experimental para asegurar la seguridad durante el transporte de baterías de litio.
<b>IEC 62660</b>	Elementos secundarios de ion-litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 1: Ensayo de funcionamiento.
<b>SAE J2464</b>	Pruebas de seguridad y abuso del sistema de almacenamiento de energía recargable (RESS) para vehículos eléctricos e híbridos eléctricos
<b>UL 2580</b>	Estándares de seguridad de baterías para el uso en el vehículo eléctrico
<b>AIS 048</b>	Requisitos de seguridad para baterías de tracción

Dentro del estudio de estas normativas se ha realizado otra tabla con los distintos ensayos que se realizan en cada una de ellas para entender de una mejor manera que aspectos validan cada una de estas normas y ver cuál es más interesante a la hora de poner en marcha el proyecto para realizar dicho procedimiento.



TABLA II  
ENSAYO SEGÚN LA NORMA DE VALIDACIÓN DE BATERÍAS

Ensayos de Baterías								
Característica a ensayar\Normativa	UN ECE R100	UN 38.3	IEC 62660	SAE J2464	UL 2580	AIS 048	ISO 12405	ISO 6469-1
Capacidad			X			X	X	
Energía			X				X	
Ciclo de vida			X				X	
Potencia			X				X	
Almacenamiento			X				X	
Estado de carga (SOC)			X				X	
Eficiencia			X				X	
Sobre temperatura	X	X		X	X		X	X
Fallo en el sistema de estabilidad térmica					X			
Estabilidad térmica				X				
Ciclos de temperatura	X	X		X	X		X	
Choque térmico	X	X		X				X
Radiación térmica				X				
Caída				X	X			
Impacto	X	X		X				
Abuso mecánico				X				
Roll-Over						X		
Rotación mecánica					X			
Penetración	X			X	X	X		
Choque mecánico	X	X		X	X	X		X
Inmersión				X	X			X
Altitud		X						
Resistencia de aislamiento					X			
Carga desbalanceada					X			
Resistencia voltaje dieléctrico					X			
Sobrecarga	X	X		X	X	X		X
Descarga	X	X		X	X			X
Abuso eléctrico				X				
Continuidad					X			
Protección contra cortocircuitos	X	X		X	X	X		X
Vibración	X	X			X	X		X
Resistencia al fuego	X				X			X
Tolerancia de fallo de célula					X			
Choque de vehículo								X

Tras realizar esta investigación se decidió entrar más a fondo en la validación de la norma ISO 12405. Pero, finalmente no se siguió adelante ya que este no era

el objetivo principal del proyecto y no es lo que más le interesaba al centro donde se realizaba este trabajo.

## 4.2.Sistema de propulsión

Al estar enfocado al sistema de propulsión del vehículo eléctrico, la verdad que la normativa internacional es bastante acotada. Tras un estudio realizado, se llegó a la normativa que la inmensa mayoría de fabricantes de sistemas de Power Train (Sistema de propulsión) utilizan para validar tanto su sistema de propulsión entero como para la validación de cada componente. Esta normativa es la ISO 21782 “*Vehículos de carretera de propulsión eléctrica. Especificaciones de ensayo para componentes de propulsión eléctrica*”. En la cual se va a enfocar el presente trabajo.

### 4.2.1.Resumen ISO 21782

Hasta esta norma no había ninguna manera estandarizada de realizar pruebas de sistemas motores (motor, inversor, convertidor y todas sus combinaciones) para la propulsión de vehículos eléctricos. Había algún método estandarizado para ensayos a velocidad constante, pero no tenían en cuenta la aceleración y desaceleración [14].

En primer lugar, se va a distinguir los términos en los que se va a referir a cada una de las partes del tren de potencia en la norma, estas son las siguientes

- Motor eléctrico
- Inversor
- Chopper (interruptor de conmutación)
- Sistema motor (trata como un único elemento al sistema formado por inversor, chopper y motor)

Una vez conocida las distintas partes a las que se va a referir la norma, podemos ver los ensayos que se realizan, estos ensayos están separados en 4 partes distintas dentro de la norma:

- Parte 2: Rendimiento del sistema motor
- Parte 3: Rendimiento de cada componente por separado
- Parte 5: Pruebas de carga y durabilidad del sistema motor
- Parte 6: Pruebas de carga y durabilidad del motor e inversor

Quedando los ensayos y sus partes mostrados en la siguiente tabla.

TABLA III  
RESUMEN DE ENSAYOS ISO 21782

ENSAYOS ISO 21782					
Parte de la norma	Ensayo	Elemento bajo ensayo			
		Motor	Inversor	Chopper	Sist. Motor
2	Pérdidas totales y eficiencia del sistema motor				X
	Aumento de temperatura del sistema motor				X
	Par característico del sistema motor				X
	Rizado de par del sistema motor				X
3	Rendimiento y eficiencia del motor	X			
	Aumento de temperatura del motor	X			
	Par característico del motor	X			
	Efecto "Cogging"	X			
	Perdida, eficiencia y ratio de conversión del inversor		X		
	Aumento de temperatura del inversor		X		
	Pérdidas, eficiencia y ratio de conversión del chopper			X	
	Aumento de temperatura del chopper			X	
5	Resistencia del sistema motor				X
	Medición de picos de tensión del sistema motor				X
	Overspeed				X
6	Ensayo de aceleración y desaceleración del motor	X			
	Resistencia al par máximo	X			
	Resistencia del motor al overspeed	X			
	Resistencia del inversor		X		
	Fuerza de rotura del rotor (OPCIONAL)	X			

La realización de todos estos ensayos será explicada en el punto 6 Norma ISO 21782, donde se mostrarán esquemas, puntos de medida, sensores a utilizar y procedimiento a seguir. Al igual que en Anexos se pueden encontrar las tablas a rellenar con la ejecución de los ensayos.

## 5.DISEÑO DE BANCO DE ENSAYOS PARA MOTOR ELÉCTRICO

En este apartado se va a explicar el diseño del banco. Este diseño se trata de un banco piloto el cual servirá para realizar unos primeros ensayos de motores eléctricos en sistemas de propulsión y para acondicionar y aprender a utilizar la instrumentación utilizada para la medición

El diseño del banco piloto cuenta con dos partes: Por un lado, la parte mecánica, que es el propio banco donde se va a realizar los distintos ensayos. Por otro lado, la parte de instrumentación, encargada de adquirir y procesar los datos de las distintas variables, que se medirán en los ensayos que se realicen en el banco.

### 5.1.Diseño mecánico

Para el diseño mecánico, se ha optado por un diseño de motores enfrentados, manera recomendada por la norma ISO 21782. La norma que se va a seguir en el presente trabajo.

El lugar donde se va a instalar el banco es una de las bancadas libres que se encuentran en NAITEC, que cuenta con todo lo necesario para instalar una bancada de las características deseadas. Además de contar con unas dimensiones más que suficientes para una bancada de este estilo y de disponer de jaula de protección, por cualquier problema que pueda surgir.

En la figura 14 se puede ver el diseño del banco piloto.

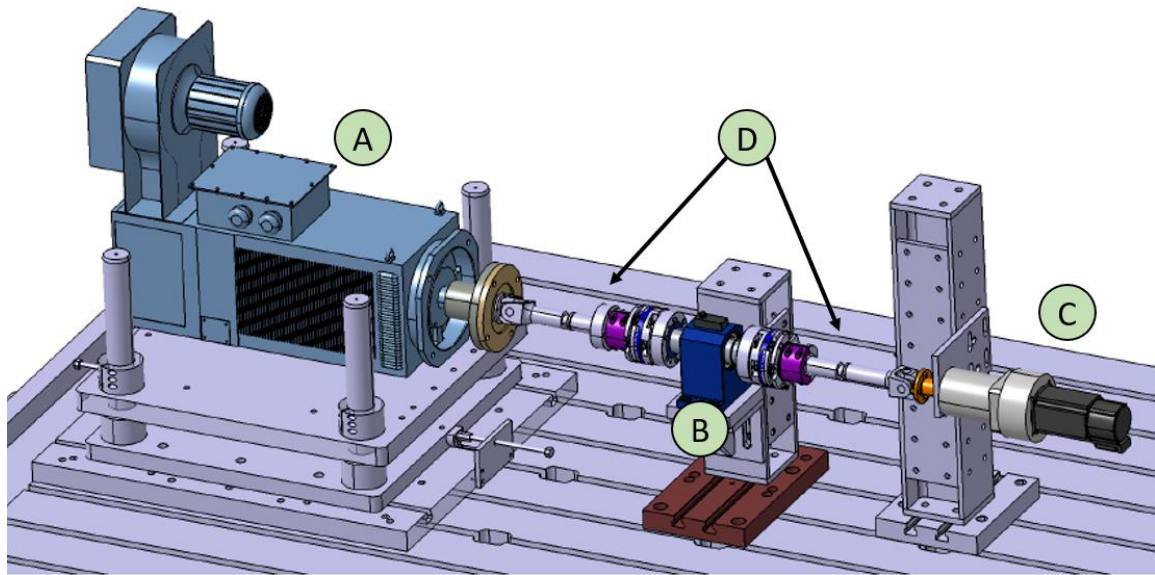


Fig. 14: Resumen de ensayos ISO 21782

Una vez mostrado el diseño, se van a enumerar los distintos elementos que componen el banco. Para ello, se utilizarán los puntos de la Figura 14 para distinguir cada una de las partes que componen el diseño mecánico del banco piloto. En el apartado 1 de Anexos se puede encontrar el plano con los distintos elementos del banco.

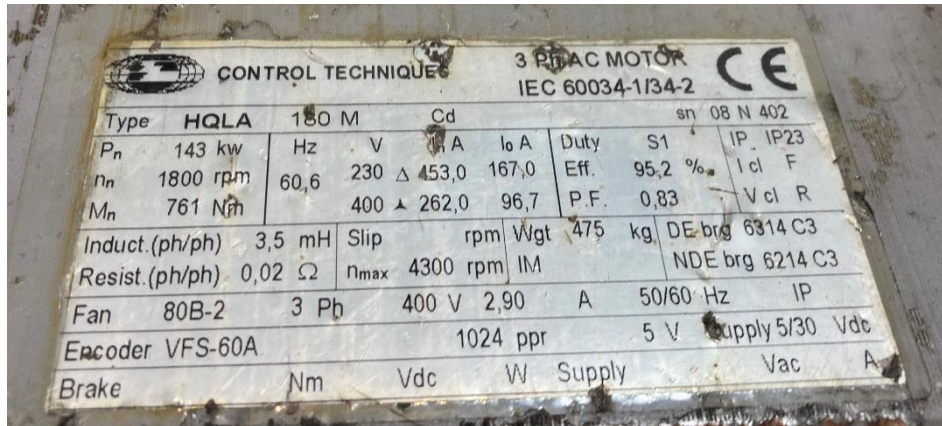
A → Motor dinamométrico: Este motor estará controlado en par. Es el encargado de frenar la cadena motriz, haciendo trabajar al motor bajo estudio en la consigna de par deseada.





Fig. 15: Motor dinamométrico del banco piloto

Este motor que se utilizara como freno, cuenta con la siguiente placa de características.



CONTROL TECHNIQUES		3 PHASE MOTOR		IEC 60034-1/34-2		CE			
Type	HQLA 180 M Cd	sn	08 N 402						
$P_n$	143 kw	Hz	V	$I_n$ A	$I_0$ A	Duty	S1	IP	IP23
$n_n$	1800 rpm	60,6	230 $\Delta$	453,0	167,0	Eff.	95,2 %	Cl	F
$M_n$	761 Nm		400 $\Delta$	262,0	96,7	P.F.	0,83	Cl	R
Induct.(ph/ph)	3,5 mH	Slip	rpm	Wgt	475 kg	DE brg	6314 C3		
Resist.(ph/ph)	0,02 $\Omega$	$n_{max}$	4300 rpm	IM		NDE brg	6214 C3		
Fan	80B-2	3 Pb	400 V	2,90 A	50/60 Hz	IP			
Encoder	VFS-60A			1024 ppr	5 V	Supply	5/30 Vdc		
Brake	Nm	Vdc	W	Supply	Vac	A			

Fig. 16: Placa de características del motor dinamométrico

B → Sensor de Par Lorenz: Es el sensor encargado de medir el par que se ejerce en el eje de transmisión y sirve como unión mecánica entre el motor dinamométrico y el motor bajo ensayo. Sus características eléctricas se explicarán en el apartado de instrumentación.

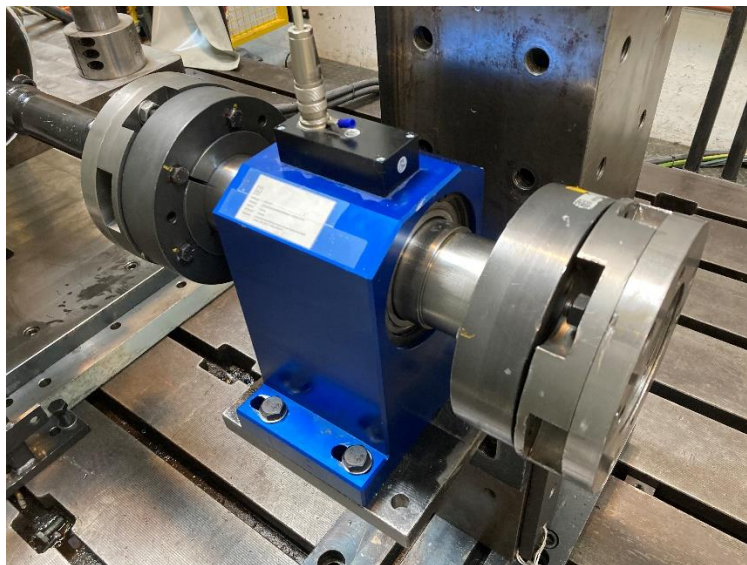


Fig. 17: Sensor de par Lorenz

C → Motor bajo estudio (DUT): Es el motor que se estudiará en los ensayos que se realicen en el banco. Este motor estará controlado en velocidad y será el encargado de hacer trabajar al tren motor a la velocidad deseada. Para estos ensayos se utilizará un servomotor que se encontraba sin uso dentro de las

instalaciones de NAITEC, a la salida del motor viene conectada una reductora de ratio 6. Se estudia el conjunto de motor y reductora juntos.



Fig. 18: Servomotor bajo estudio

Este motor muestra la siguiente placa de características:

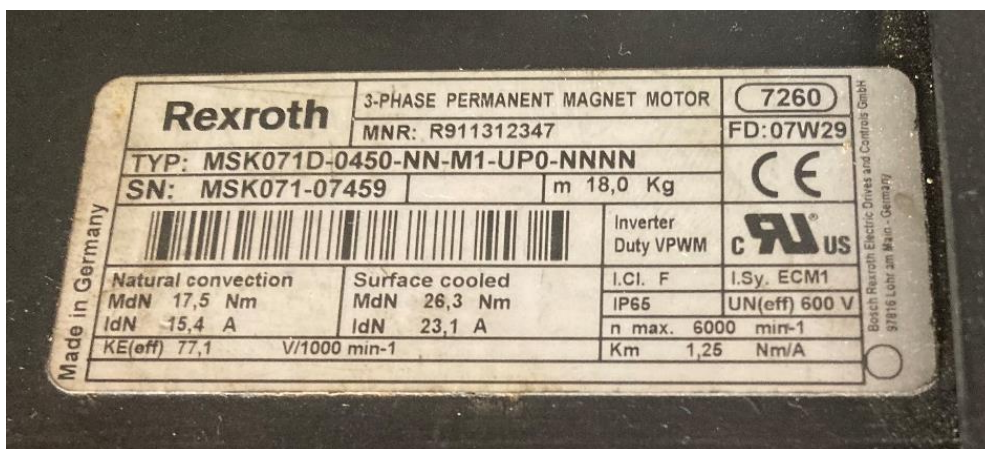


Fig. 19: Placa de características del servomotor

D → Cardan: Es el sistema mecánico utilizado para unir los anteriores elementos ya mencionados, ya que permite la unión de ejes no coaxiales como es el caso que se da en este banco. De esta manera, se consigue transmitir el momento rotativo a pesar de no ser colineales.

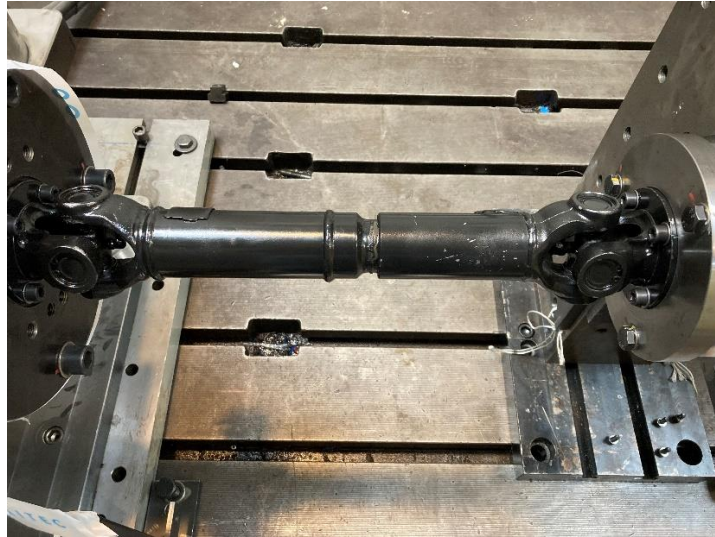


Fig. 20: Cardan del banco piloto

## 5.2. Instrumentación

En este apartado se va a comentar todos los elementos utilizados para la monitorización, medición y adquisición de los datos y variables en la realización de los ensayos. Para realizar esto se van a utilizar:

- Adquisidor de datos GEN7tA
- Transductores de corriente ID600
- Sensor de par Lorenz 5000/500 Nm
- Termopares tipo K

Con todos estos elementos, se puede medir y realizar los ensayos dirigidos al estudio del motor, según la norma ISO 21782. Únicamente se pueden realizar estos ensayos ya que se trata de un banco piloto, el cual está dirigido a una primera realización de los ensayos de motor de la norma y a la puesta en marcha de los equipos de adquisición de datos.

### 5.2.1. GEN7tA

Elemento principal de la instrumentación. Se trata de un adquisidor de datos de gran versatilidad y potencia, además de una alta capacidad y velocidad de procesamiento de datos, es capaz de realizar gráficas y cálculo de ecuaciones en



tiempo real. Este instrumento se complementa con el software Perception y su función para el estudio de trenes de potencia, eDrive.

Este aparato cuenta con hasta 7 tarjetas, las cuales cuentan con entradas y salidas analógicas y digitales para la adquisición de datos. Además de protocolos de comunicación como puede ser el CAN Bus o Ethernet.



Fig. 21: GEN7tA

En el caso del banco piloto, se utilizará una tarjeta (Tarjeta A) para la adquisición de las corrientes de entrada al motor, mediante los transductores de corriente ID600. Esta tarjeta también se utilizará para la obtención de los valores de tensión, ya que soporta hasta 1 kV mediante el uso de conectores banana.

La otra tarjeta (Tarjeta C) que se va a utilizar es la tarjeta de entradas analógicas universales. En esta, se puede incluir cualquier sensor con salida analógica, ya que se pueden ajustar las curvas de calibración y todas las variables que definen los sensores a través del software Perception. En el caso del presente proyecto, se utiliza para medir la velocidad del eje mecánico a la salida del motor y el par que ejerce el mismo.

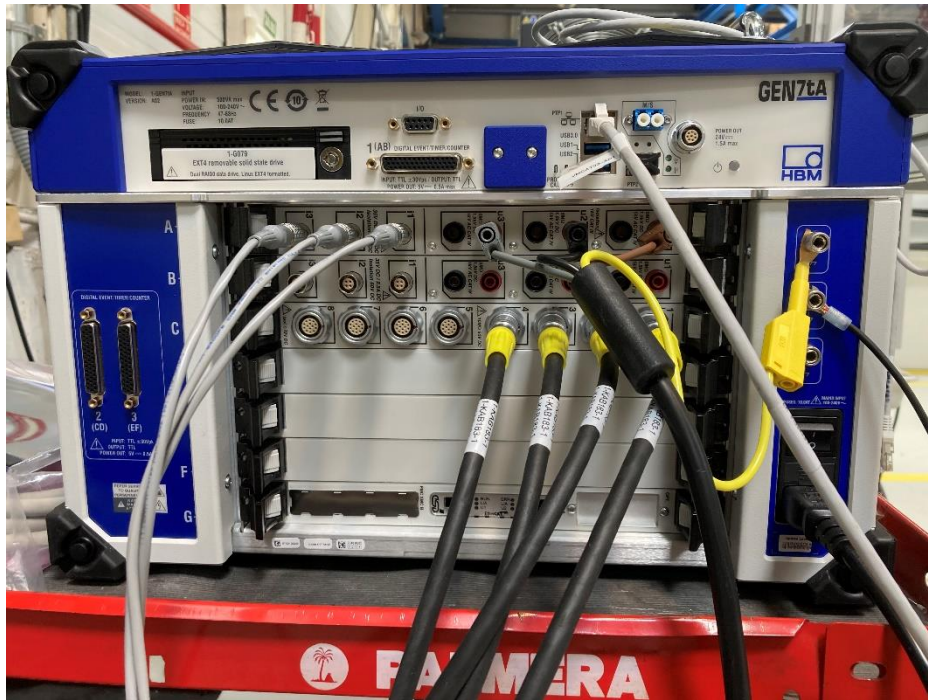


Fig. 22: Conexiones GEN7tA

Gracias a las fórmulas que se aplican en tiempo real, se logra obtener las potencias de entrada y salida, así como el rendimiento en el propio momento de la adquisición y realización de las medidas.

Para configurar el setup del banco y la configuración de canales de los sensores se utiliza la función eDrive del software Perception.

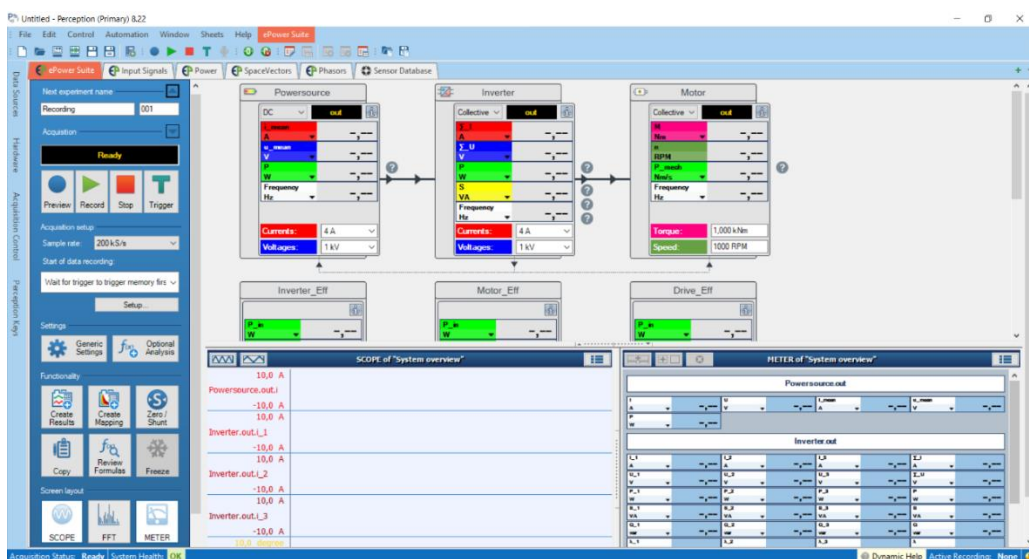


Fig. 23: Pantalla de inicio de Perception

En la Fig. 23 puede observar la configuración del banco, como se puede ver, cuenta con la capacidad de medir todos los elementos que describe la norma ISO 21782. La alimentación también se puede configurar para cualquier tipo de alimentación del tren de potencia, ya sea con una batería en DC o desde la propia red en AC.

En la imagen anterior, también se pueden observar las funciones adicionales que tiene, como son la creación de mapas y las fórmulas en tiempo real o los botones de control de adquisición de datos.

### 5.2.2.ID600

Transductor de corriente de bucle cerrado que garantiza la máxima precisión y un error mínimo gracias a la detección del segundo armónico de flujo cero, manteniendo un elevado ancho de banda.

Este transductor soporta una corriente nominal de 600 A RMS y 900 A de corriente DC, más que suficiente para el uso que se le va a dar en los ensayos realizados en este banco piloto. Ya que son los encargados de medir la corriente de entrada al motor. El rango de temperatura es de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  y dispone de avanzados circuitos de protección.



Fig. 24: Transductor de corriente

Con este sensor viene incluida una interfaz a la cual se le pueden conectar hasta 6 transductores. Esta interfaz hace de unión entre el transductor y el GEN7tA.



Fig. 25: Interfaz transductores de corriente

### 5.2.3. Sensor de par Lorenz

Sensor mostrado en el apartado de diseño mecánico. Es el encargado de medir el par a la salida del motor. Se trata de un transductor de par sin contacto que tiene como señal de salida, un rango de  $\pm 5$  V. Este sensor, como ya se ha visto en el diseño, está situado entre los dos motores y puede medir dos rangos de par,  $\pm 500$  Nm y  $\pm 5000$  Nm.

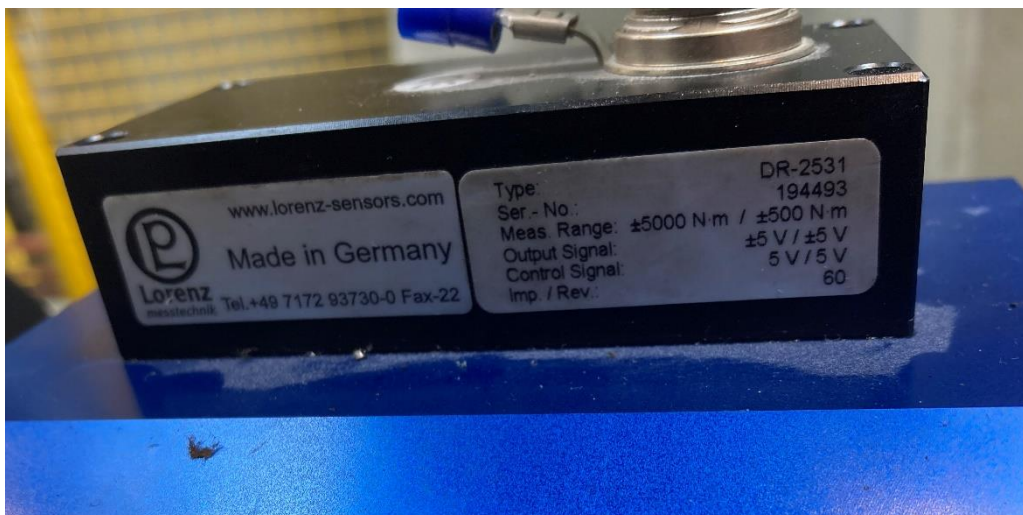


Fig. 26: Características del sensor de par Lorenz

### 5.2.4. Termopar tipo K

Se trata de uno de los termopares más utilizados en aplicaciones industriales. Esto es debido a su bajo coste y a su amplio rango, de  $-200$  °C a  $+1300$  °C aproximadamente. Es un sensor pasivo de temperatura, el cual genera una

tensión proporcional a la temperatura. Conociendo su sensibilidad,  $41,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  en los utilizados para este banco. Se puede conocer la temperatura en su extremo.

En este proyecto se utilizarán para medir la temperatura en los puntos más próximos al bobinado del motor, ya que son los puntos que mayor temperatura pueden llegar a alcanzar y los que se estudian en varios de los ensayos descritos por la ISO 21782.

### 5.3.Capacidades del banco

La capacidad del banco viene limitada por dos factores fundamentales. El primero las limitaciones mecánicas y físicas y el segundo las limitaciones en los aparatos de instrumentación. Teniendo en cuenta ambas limitaciones, el banco tiene la siguiente capacidad de operación.

- Par: desde  $-760 \text{ Nm}$  a  $760 \text{ Nm}$
- Velocidad: desde  $-1800 \text{ rpm}$  a  $1800 \text{ rpm}$
- Corriente: hasta  $600 \text{ A RMS}$
- Tensión: hasta  $1 \text{ kV}$
- Peso: cualquiera (siempre que sea de turismo o similar)
- Dimensiones: cualquiera (siempre que sea de turismo o similar)

En la figura 27, se muestra una foto del banco piloto visto desde la puerta de la jaula de protección.





Fig. 27: Banco de ensayos

#### 5.4. Medidas de seguridad

Debido al perfil de esta bancada, resulta necesario disponer de medidas de seguridad para que cualquier persona que haga uso de la bancada no resulte herida y también para garantizar que no se dañe ningún elemento de la misma.

Los dos elementos principales de protección son:

- La seta de emergencia
- La jaula de protección

La primera, es el elemento de acción que se debe pulsar en caso de que se observe algo que no debe ocurrir o si se produce cualquier tipo de problema. Se dispone de 3 setas de emergencia. La primera está situada en la puerta de la bancada, la segunda se encuentra sobre el variador, la última se encuentra junto al ordenador que controla la bancada. Estos elementos cortarían la alimentación de la bancada, haciendo así que esta detenga funcionamiento rápidamente.

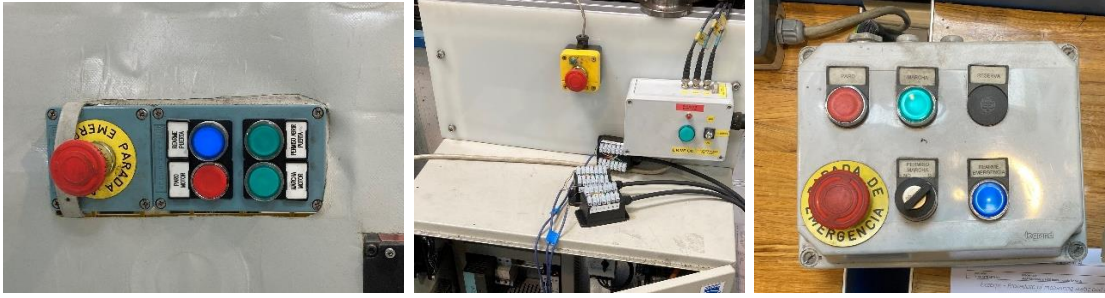


Fig. 28: Setas de emergencia

Por otro lado, se encuentra la jaula de protección. Se trata de una jaula de metal que cubre la bancada por su exterior. Su función es la de aislar la zona de ensayo con el resto de las zonas, de esta manera, si se produce un fallo en la bancada y se desprende un objeto que pueda causar cualquier tipo de daño, este impactará contra la jaula protegiendo las zonas exteriores. Si las puertas de la jaula no están cerradas, no se puede poner en marcha la bancada.



Fig. 29: Jaula de protección

## 6.EJECUCIÓN ENSAYOS SEGÚN ISO 21782 Y RESULTADOS

En este punto se van a explicar los ensayos nombrados en el punto 4.2.1. Se nombrará cada uno de ellos, así como el procedimiento a seguir, medidas que tomar, esquema gráfico del ensayo y todo lo que la norma mencione sobre la realización de los mismos.

### 6.1.Condiciones generales

En este punto se van a comentar los aspectos que tienen que cumplir todos y cada uno de los ensayos que se van a ir explicando dentro de este apartado tal y como describe la normativa.

En todo ensayo se deberá cumplir:

- Temperatura ambiente =  $23 \pm 5$  °C
- Humedad = 25% - 75%
- Voltaje de entrada =  $\pm 2$  % de la tensión nominal

La precisión de las medidas que se realicen a lo largo de los ensayos, debe ser como mínimo la mostrada a continuación:

- Corriente:  $\pm 1,0$  %
- Voltaje:  $\pm 0,5$  %
- Par:  $\pm 0,2$  %
- Velocidad:  $\pm 0,5$  %
- Temperatura:  $\pm 2$  K
- Humedad:  $\pm 5$  %

Todas estas medidas deben ser tomadas con una frecuencia no menor a 10 Hz. Menos la temperatura y humedad que es suficiente con 1 Hz. Como regla general se utilizará la media de la medida en el último segundo de medición, como valor a utilizar en los cálculos y a rellenar en las tablas de resultados.



Estas precisiones se conseguirán en el banco final, con toda la sensoria de HBM, pero el banco desarrollado en este trabajo es un banco piloto en el cual las precisiones de par son algo peores de lo que exige la norma.

### 6.1.1 Puntos de funcionamiento

Uno de los aspectos clave son los puntos en los que se le va a hacer trabajar al tren de potencia a la hora de realizar el estudio y las mediciones del mismo. Estos puntos de potencia vienen definidos a continuación.

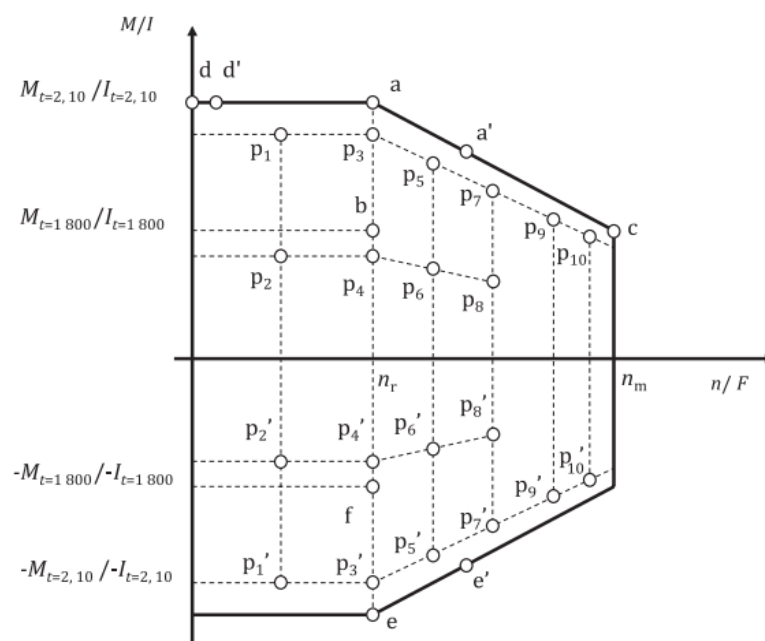


Fig. 30: Puntos de funcionamiento [14]

En la figura 30 se ven representados los puntos de funcionamiento, por un lado, tenemos el eje X, que viene representado por la velocidad/frecuencia. Por el otro lado tenemos el eje Y, que viene representado por el par/corriente. El  $t_0$  que aparece en el gráfico indica el tiempo al cual puede estar el sistema operando a la máxima magnitud. Un ejemplo:  $I_{t_0=1800}$  es la corriente máxima que soporta el motor durante 1800 segundos sin dañar el aislamiento por calentamiento.

En caso de que el sistema sea bidireccional se usará tanto la parte superior como inferior del eje Y. Si es unidireccional solo se estudiará la parte superior. Estos puntos se sacan a partir de los puntos a, b, c, d, e y f. El resto de los puntos que

se muestran en el gráfico son puntos derivados de los anteriores. En la tabla X se puede ver como se obtiene cada punto.

TABLA IV  
PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO

Punto de trabajo	Velocidad del motor ( $\text{min}^{-1}$ ) /frecuencia (Hz)	Par (Nm) /corriente (A)	Potencia de salida (W)
a	velocidad/frecuencia nominal	$M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	$P_{t=2,10}$
a'	–	–	$P_{t=2,10}$ (si "a" no es la potencia máx)
b	velocidad/frecuencia nominal	$M_{t=1800}/I_{t=1800}$	–
c	velocidad/frecuencia máxima	–	$P_{t=2,10}$
d	velocidad/frecuencia cero	$M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
d'	velocidad/frecuencia baja	$M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
e	velocidad/frecuencia nominal	$-M_{t=2,10}/-I_{t=2,10}$	–
f	velocidad/frecuencia nominal	$-M_{t=1800}/-I_{t=1800}$	–
P <sub>1</sub>	0,5 x velocidad/frecuencia nominal	$0,8 \times M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
P <sub>2</sub>	0,5 x velocidad/frecuencia nominal	$0,4 \times M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
P <sub>3</sub>	velocidad/frecuencia nominal	$0,8 \times M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
P <sub>4</sub>	velocidad/frecuencia nominal	$0,4 \times M_{t=2,10}/I_{t=2,10}$	–
P <sub>5</sub>	0,25 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	$0,8 \times P_{t=2,10}$
P <sub>6</sub>	0,25 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	$0,4 \times P_{t=2,10}$
P <sub>7</sub>	0,5 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	$0,8 \times P_{t=2,10}$

(CONTINUACIÓN)

## PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO

P8	0,5 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,4 x Pt=2,10
P9	0,75 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x Pt=2,10
P10	0,9 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x Pt=2,10

Y el resto de los puntos del gráfico son opcionales y se obtienen:

TABLA V

## PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO (OPCIONALES)

Punto de trabajo	Velocidad del motor ( $\text{min}^{-1}$ ) /frecuencia (Hz)	Par (Nm) /corriente (A)	Potencia de salida (W)
e'	–	–	-P <sub>t=2,10</sub> (si "e" no es la potencia máx)
P <sub>1</sub> '	0,5 x velocidad/frecuencia nominal	0,8 x -M <sub>t=2,10</sub> /-I <sub>t=2,10</sub>	–
P <sub>2</sub> '	0,5 x velocidad/frecuencia nominal	0,4 x -M <sub>t=2,10</sub> /-I <sub>t=2,10</sub>	–
P <sub>3</sub> '	velocidad/frecuencia nominal	0,8 x -M <sub>t=2,10</sub> /-I <sub>t=2,10</sub>	–
P <sub>4</sub> '	velocidad/frecuencia nominal	0,4 x -M <sub>t=2,10</sub> /-I <sub>t=2,10</sub>	–
P <sub>5</sub> '	0,25 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x -P <sub>t=2,10</sub>
P <sub>6</sub> '	0,25 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,4 x -P <sub>t=2,10</sub>

(CONTINUACIÓN)

## PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO (OPCIONALES)

P <sub>7</sub> '	0,5 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x -P <sub>t=2,10</sub>
P <sub>8</sub> '	0,5 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,4 x -P <sub>t=2,10</sub>
P <sub>9</sub> '	0,75 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x -P <sub>t=2,10</sub>
P <sub>10</sub> '	0,9 x (velocidad/frec máxima – velocidad/frec nominal) + velocidad/frec nominal	–	0,8 x -P <sub>t=2,10</sub>

Sobre estos puntos de funcionamiento es sobre los que se van a realizar los ensayos. En cada uno de ellos se especificará en cuales de estos puntos hay que estar trabajando y durante cuánto tiempo.

Para hacer que el sistema trabaje en los puntos que se han descrito, se van a utilizar 2 motores. El primero de ellos es el DUT (Device Under Test), es decir, el motor conectado al tren de potencia, que es el que se estudia. El otro, actuará como carga frenando al motor bajo estudio. Por tanto, el control se realizará controlando el DUT en velocidad y el motor de freno controlado en par.

Una vez conocidos los aspectos generales que indica la normativa y los cuales hay que cumplir en cada ensayo. Se procede a la explicación de los ensayos. Las tablas que se deben rellenar con la realización de los ensayos se encuentra en el apartado 2 de Anexos.

## 6.2. Ensayos de rendimiento del sistema motor

En este apartado se realizan 4 ensayos los cuales están enfocados a estudiar y evaluar el rendimiento del sistema motor al completo, es decir, del inversor, chopper y motor.

### 6.2.1. Ensayo 1: Pérdidas totales y eficiencia del sistema motor

Esta prueba mide la pérdidas totales y eficiencia entre la potencia de entrada del inversor y la potencia de salida del motor, para asegurarse de que el rendimiento del motor sea el diseñado o estudiar dicho rendimiento.

El esquema del ensayo:

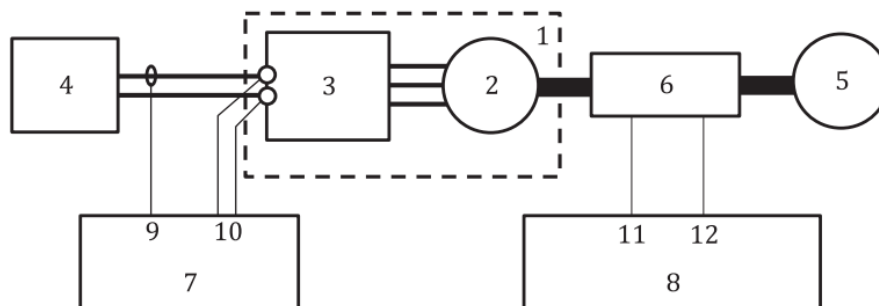


Fig. 31: Esquema ensayo 1 [14]

#### **Leyenda**

1 DUT	7 Medida de potencia
2 Motor bajo ensayo	8 Medida de Potencia par-velocidad
3 inversor bajo ensayo	9 Corriente de entrada inversor (en A)
4 Suministro de potencia en DC	10 Voltaje de entrada inversor (en V)
5 Carga	11 Par motor (en Nm)
6 Sensor de par/velocidad	12 velocidad (en $\text{min}^{-1}$ )

Como se ha mencionado en las condiciones generales de ensayo, se tomara la media del valor medido durante el ultimo segundo de funcionamiento en cada punto. Esto es aplicable para cada ensayo a no ser que se indique lo contrario. Los puntos de funcionamiento en este ensayo y el tiempo en cada uno de ellos se muestran en la tabla VI.

TABLA VI

## PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 1

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
a´	2 , 10
b	1800
p1	2 , 10
p2	2 , 10
p3	2 , 10
p4	2 , 10
p5	2 , 10
p6	2 , 10
p7	2 , 10
p8	2 , 10
p9	2 , 10
p10	2 , 10
e *	2 , 10
e´ *	2 , 10
f *	1800
p1´ *	2 , 10
p2´ *	2 , 10
p3´ *	2 , 10
p4´ *	2 , 10
p5´ *	2 , 10
p6´ *	2 , 10
p7´ *	2 , 10
p8´ *	2 , 10
p9´ *	2 , 10
p10´ *	2 , 10

NOTA: "\*" indica que los puntos son opcionales

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

Para los puntos de trabajo hay que medir: Por un lado, la potencia de entrada, a través de la corriente y la tensión. Por otro lado, la potencia de salida, a través del par y la velocidad.

Con estos datos, ya se puede aplicar la formula X, para calcular las perdidas y el rendimiento del sistema de propulsión para cada uno de los puntos en los que se ha trabajado.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

*Formula 2: Rendimiento y potencia de entrada del sistema motor*

Donde:

$\eta$ : Rendimiento del sistema

$P_{out}$ : Potencia de salida del motor

$P_{in}$ : Potencia de entrada del inversor

$P_{loss}$ : Potencia de pérdidas del sistema

6.2.2. Ensayo 2: Aumento de temperatura del sistema motor

Este ensayo investiga el aumento de temperatura de cada parte del sistema del motor dentro del rango especificado, para asegurarse de que el rendimiento del sistema del motor sea el diseñado y este dentro del rango diseñado.

El esquema del ensayo:

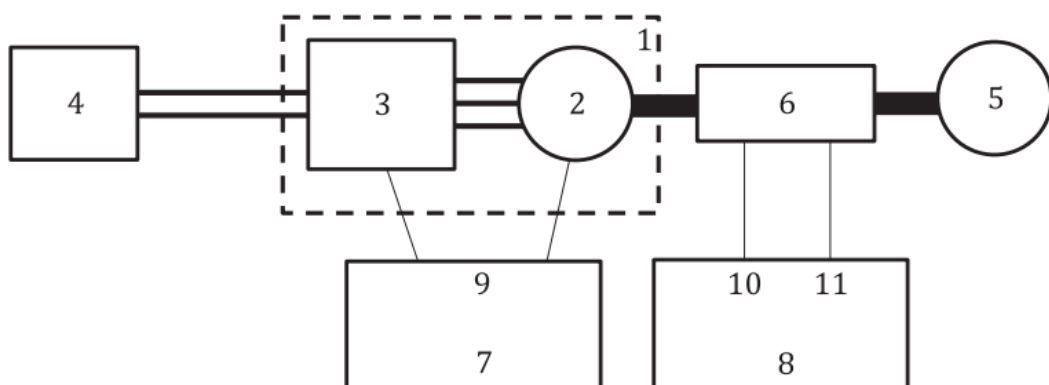


Fig. 32: Esquema ensayo 2 [14]



**Leyenda**

1 DUT	7 Medidor de temperatura
2 Motor bajo ensayo	8 Medida de Potencia par-velocidad
3 inersor bajo ensayo	9 Temperatura (en °C)
4 Suministro de potencia en DC	10 Velocidad (en min <sup>-1</sup> )
5 Carga	11 Par motor (en Nm)
6 Sensor de par/velocidad	

Los puntos de funcionamiento para el ensayo de aumento de temperatura se muestran en la tabla VII.

TABLA VII  
PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 1

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
b	1800

Durante la realización del ensayo, si es posible se debe conectar el refrigerador entre el inersor y el motor. El refrigerante debe fluir del inersor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

El motor debe trabajar en los puntos de trabajo ya estipulados y la temperatura en los puntos de trabajo debe ser guardada. En cada punto de trabajo tras pasar el tiempo que se especifique se debe recopilar la temperatura.

Hay que medir la temperatura de la bobina en los puntos que se asumen como máximos. El resto de los puntos pueden ser añadidos si se llega al acuerdo con el cliente. La temperatura del inersor debe ser medida tanto en la entrada como en la salida del refrigerante, como en el electrodo del semiconductor de potencia. También se pueden añadir puntos de medida si el cliente lo desea.

### 6.2.3. Ensayo 3: Par característico del sistema motor

En este ensayo bajo la condición de motor frente a motor se estudia el par característico para comprobar que corresponde con el par diseñado por el fabricante.

El esquema del ensayo:

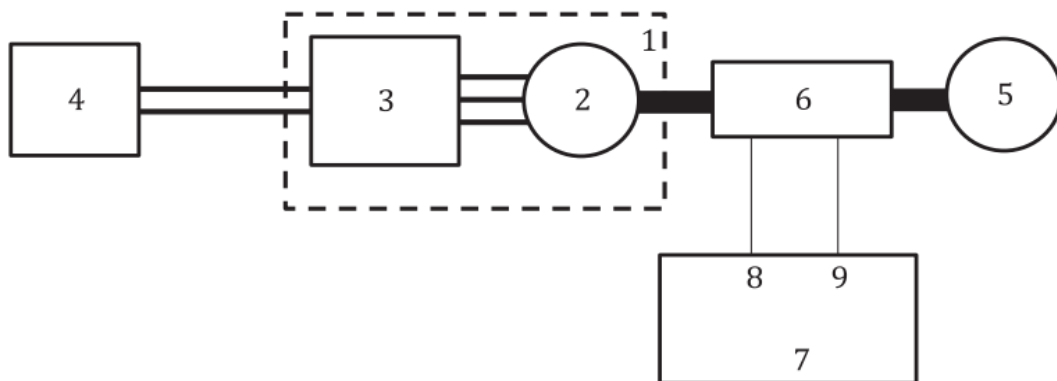


Fig. 33: Esquema ensayo 3 [14]

**Leyenda**

- 1 DUT
- 2 Motor bajo ensayo
- 3 inversor bajo ensayo
- 4 Suministro de potencia en DC
- 5 Carga
- 6 Sensor de par/velocidad
- 7 Medida de Potencia par-velocidad
- 8 Par motor (en Nm)
- 9 Velocidad (en min<sup>-1</sup>)

Los puntos de funcionamiento para el ensayo de aumento de temperatura se muestran en la tabla VIII.

TABLA VIII  
PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 3

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
a'	2 , 10
c	2 , 10
d	2 , 10

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

Los resultados obtenidos en los diferentes puntos deben ser almacenados y documentados en el informe del ensayo. Se tomará como valor, la media en el último segundo de medición en cada punto.

#### 6.2.4. Ensayo 4: Rizado de par

En este ensayo se va a estudiar el rizado del par del motor. Sigue el mismo esquema que el ensayo anterior, pero con la diferencia de que se va a monitorizar el rizado del par centrándose en el punto de funcionamiento “d”.

El esquema del ensayo:

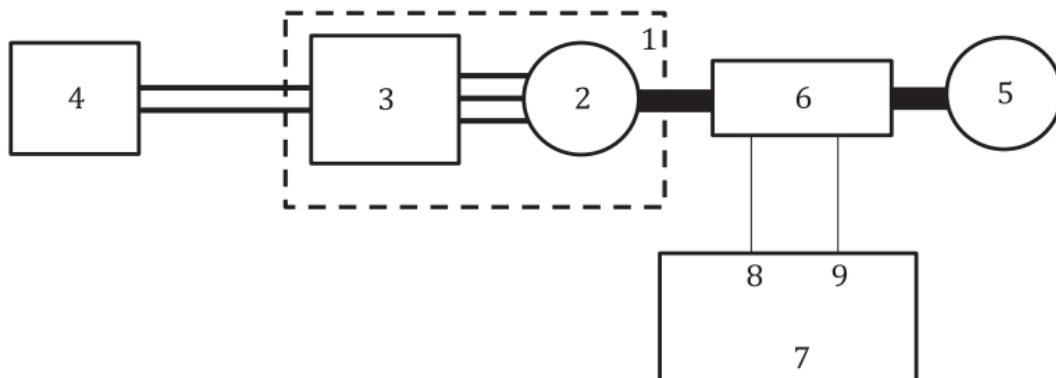


Fig. 34: Esquema ensayo 4 [14]

#### **Leyenda**

- |                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 DUT                          | 6 Sensor de par/velocidad           |
| 2 Motor bajo ensayo            | 7 Medida de Potencia par-velocidad  |
| 3 inversor bajo ensayo         | 8 Par motor (en Nm)                 |
| 4 Suministro de potencia en DC | 9 Velocidad (en $\text{min}^{-1}$ ) |
| 5 Carga                        |                                     |

El único punto de funcionamiento en el que se va a trabajar en este ensayo es el punto “d”, durante 2 o 10 segundos, según pacten el cliente y el proveedor. El valor de toda la onda del par será monitorizado, obteniendo el valor de rizado de par, este será el valor pico-pico del rizado.

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una

temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

### 6.3. Ensayos de rendimiento del motor e inversor

En este apartado el DUT será tanto el motor como el inversor, cada elemento por separado.

#### 6.3.1. Ensayo 5: Rendimiento y eficiencia del motor

El propósito de este ensayo es comprobar que el motor trabaja en las condiciones deseadas de operación y medir las pérdidas y eficiencia del mismo. Para ello se medirá la potencia de entrada y la potencia de salida únicamente del motor y así conoceremos los datos de este elemento del tren de potencia.

Para realizar este método se va a utilizar el siguiente esquema:

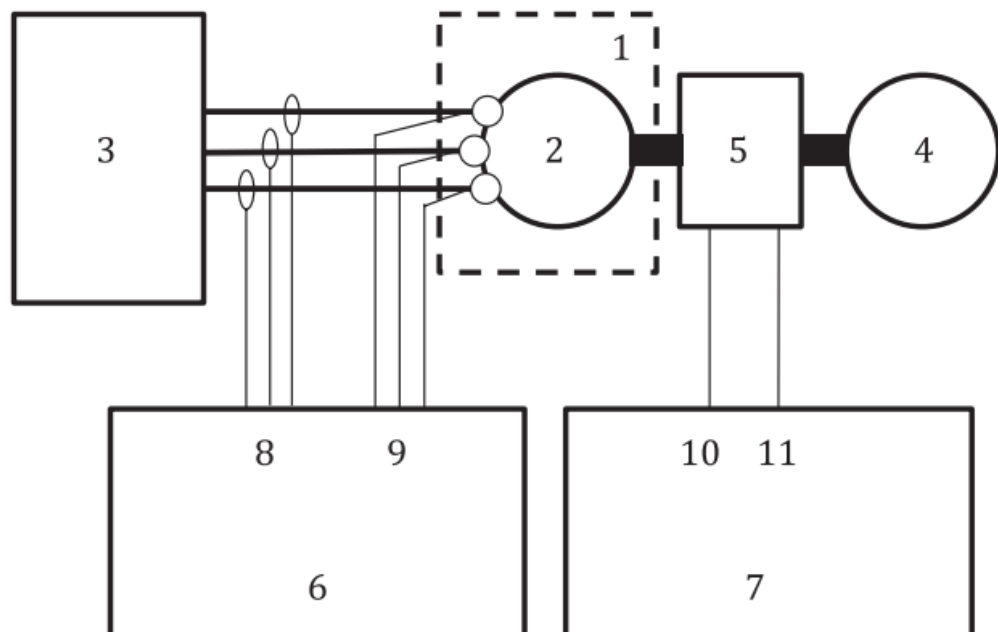


Fig. 35: Esquema ensayo 5 [14]

**Leyenda**

1 DUT	7 Medida de Potencia par-velocidad
2 Motor bajo ensayo	8 Corriente de entrada al motor (en A)
3 inersor bajo ensayo	9 Tensión de entrada al motor (en A)
4 Carga	10 Velocidad (en min <sup>-1</sup> )
5 Sensor de par/velocidad	11 Par motor (en Nm)
6 Potenciometro	

Los puntos en los que se va a operar en este ensayo, con sus respectivos tiempos de operación se muestran en la tabla IX.

TABLA IX  
PUNTOS DE OPERACIÓN ENSAYO 5

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
a´	2 , 10
b	1800
p1	2 , 10
p2	2 , 10
p3	2 , 10
p4	2 , 10
p5	2 , 10
p6	2 , 10
p7	2 , 10
p8	2 , 10
p9	2 , 10
p10	2 , 10
e *	2 , 10
e´ *	2 , 10
f *	1800
p1´ *	2 , 10
p2´ *	2 , 10
p3´ *	2 , 10
p4´ *	2 , 10
p5´ *	2 , 10
p6´ *	2 , 10
p7´ *	2 , 10
p8´ *	2 , 10
p9´ *	2 , 10
p10´ *	2 , 10

“\*\*” indica que los puntos son opcionales

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

El motor debe trabajar en los puntos que marca la tabla IX. Durante estos puntos de trabajo se debe monitorizar la potencia de entrada, el par de salida y la velocidad. De cada medida se cogerá el valor medio del último segundo.

Una vez obtenidos los valores, se utilizan las fórmulas mencionadas en el punto 1 como en todos los casos que se calcula el rendimiento y las pérdidas.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad P_{in} = P_{out} + P_{loss}$$

*Formula 3: Rendimiento y potencia de entrada del motor*

Donde:

$\eta$ : Rendimiento del motor

$P_{out}$ : Potencia de salida del motor

$P_{in}$ : Potencia de entrada al motor

$P_{loss}$ : Potencia de pérdidas del motor

### 6.3.2. Ensayo 6: Aumento de la temperatura del motor

En este ensayo se hace trabajar al motor en unos estados determinados y se mide como cambia el valor de la temperatura. Una vez medido se comprueba que corresponde con el valor que marca el fabricante y para el que ha sido diseñado.

Se utiliza el siguiente esquema:

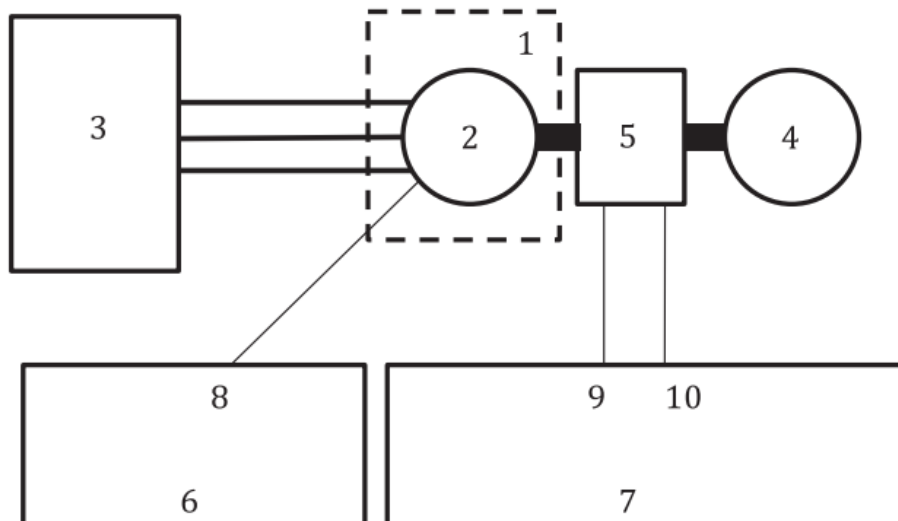


Fig. 36: Esquema ensayo 6 [14]

**Leyenda**

- 1 DUT
- 2 Motor bajo ensayo
- 3 inversor bajo ensayo
- 4 Carga
- 5 Sensor de par/velocidad
- 6 Medidor de temperatura
- 7 Medida de Potencia par-velocidad
- 8 Temperatura (en °C)
- 9 Velocidad (en min<sup>-1</sup>)
- 10 Par motor (en Nm)

Los puntos de funcionamiento para el ensayo de aumento de temperatura se muestran en la tabla X.

TABLA X

PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 6

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2, 10
b	1800

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

Se hace trabajar al motor en los puntos especificados, en estos puntos se mide la temperatura. Se puede utilizar un inversor que sea capaz de trabajar de



manera continua en el punto de par máximo. La temperatura del bobinado debe ser medida en los puntos que se consideren máximos, se pueden añadir más puntos mediante un acuerdo entre cliente y proveedor. Los resultados obtenidos se mostrarán en la tabla de resultados del ensayo. Todas las tablas de los ensayos se encuentran en Anexos.

### 6.3.3. Ensayo 7: Par característico del motor

Se va a ensayar cómo se comporta el par bajo condiciones de trabajo específicas, para comprobar que este sea igual al diseñado por el fabricante y poder validarlo.

Se utiliza el siguiente esquema:

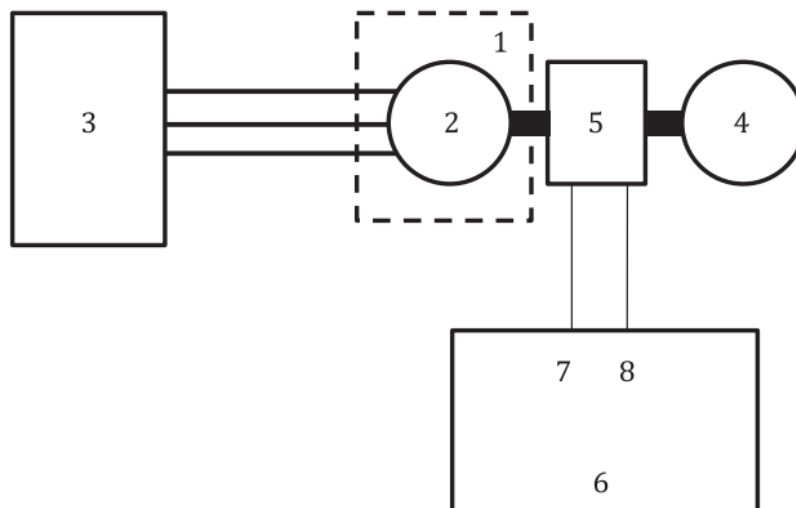


Fig. 37: Esquema ensayo 6 [14]

#### **Leyenda**

- |                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 DUT                          | 6 Sensor de par/velocidad           |
| 2 Motor bajo ensayo            | 7 Medida de Potencia par-velocidad  |
| 3 inversor bajo ensayo         | 8 Par motor (en Nm)                 |
| 4 Suministro de potencia en DC | 9 Velocidad (en $\text{min}^{-1}$ ) |
| 5 Carga                        |                                     |

Los puntos en los que se va a operar en este ensayo, con sus respectivos tiempos de operación se muestran en la tabla XI.

TABLA XI

PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 7

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2, 10
a'	2, 10
c	2, 10
d	2, 10

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

Se hace trabajar al motor en los puntos definidos en la tabla anterior durante el tiempo definido. En estos puntos se tiene que medir la potencia de entrada, el par de salida y la velocidad. Para cada medida, el valor será la media en el último segundo.

#### 6.3.4. Ensayo 8: Efecto “Cogging”

En este ensayo se hace trabajar al motor a una velocidad baja para poder observar la interacción entre los imanes permanentes del rotor y las ranuras del estator y comprobar que corresponde con el diseñado.

Se utiliza el siguiente esquema:

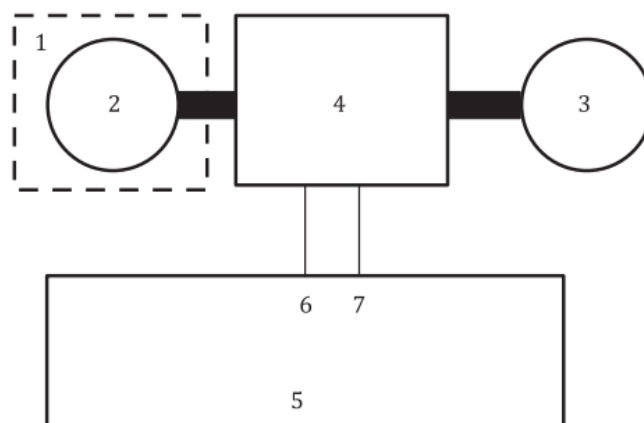


Fig. 38: Esquema ensayo 8 [14]

**Leyenda**

- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 DUT                     | 5 Medida de Potencia par-velocidad  |
| 2 Motor bajo ensayo       | 6 Par motor (en Nm)                 |
| 3 Dinamometro             | 7 Velocidad (en $\text{min}^{-1}$ ) |
| 4 Sensor de par/velocidad |                                     |

El motor debe estar conectado a un encoder o a un sistema de medición sofisticado de gran precisión. La medición debe realizarse sin carga y a la velocidad más baja posible para que se pueda apreciar de la mejor manera el efecto cogging. El cogging del par, será el valor pico-pico de la medida realizada durante el ensayo.

#### 6.3.5. Ensayo 9: Pérdidas, eficiencia y ratio de conversión del inversor

Este ensayo es muy parecido a los ya realizados de eficiencia y perdidas. La diferencia es que en este caso solo se va a estudiar el inversor. Para ello se le va a hacer trabajar en diferentes puntos y medir sus potencias de entrada y salida.

Se utiliza el siguiente esquema:

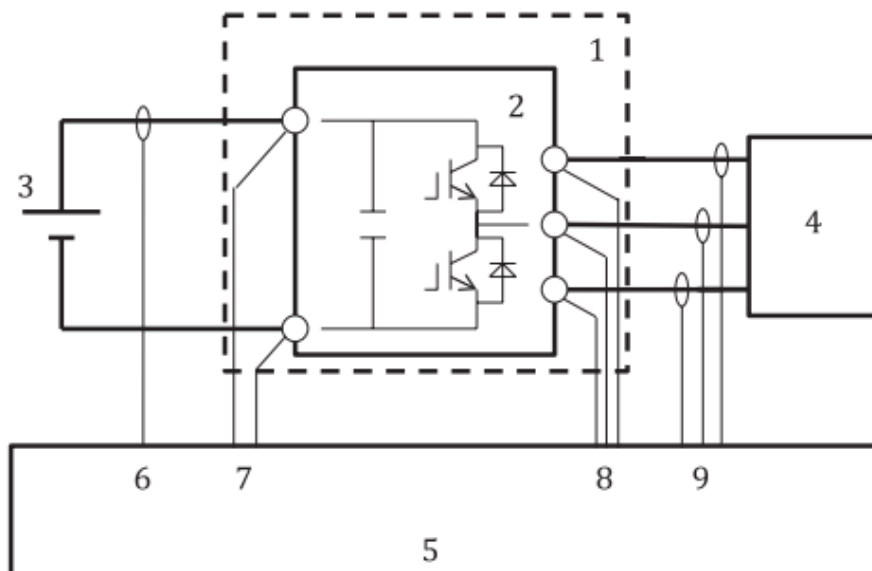


Fig. 39: Esquema ensayo 9 [14]

**Leyenda**

1 DUT	6 Corriente de entrada al inversor (en A)
2 Inversor bajo ensayo	7 Tensión de entrada al inversor (en V)
3 Suministro de potencia en DC	8 Tensión de salida del inversor (en V)
4 Carga AC	9 Corriente de salida del inversor (en A)
5 Medidor de potencia	

Como carga de corriente alterna se pueden utilizar las siguientes:

- El motor real que se vaya a utilizar con ese inversor.
- Un emulador del motor que emule las características reales del motor real.
- ACL: inductancia de 3 fases equivalente a la inductancia del motor.
- Carga RL: ACL con resistencia en serie equivalente a las resistencias por fase del motor.

Los puntos en los que se va a operar en este ensayo, con sus respectivos tiempos de operación se muestran en la tabla XII.

TABLA XII

PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 9

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
b	1800

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

El inversor deberá operar en los puntos específicos de corriente de salida durante los tiempos definidos. Se deberá medir la potencia de entrada y salida. El valor utilizado para cada una de las medidas será la media del último segundo de toda medición.

Una vez medida la potencia de entrada y salida se calcula la eficiencia, el ratio de conversión y las pérdidas con las formulas que se muestran a continuación.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad \eta_{conv} = \frac{P_{fund}}{P_{nom}}$$

Formula 4: Rendimiento, ratio de conversión y pérdidas del inversor

Donde:

$\eta$ : Rendimiento

$P_{out}$ : Potencia de salida

$P_{in}$ : Potencia de entrada

$P_{loss}$ : Potencia de pérdidas

$\eta_{conv}$ : Ratio de conversión

$P_{fund}$ : Potencia fundamental de salida

$P_{nom}$ : Potencia nominal de entrada

### 6.3.6 Ensayo 10: Aumento de temperatura del inversor

En este ensayo se va a hacer trabajar al inversor bajo unas condiciones específicas y se medirá el aumento de temperatura en el inverso para comprobar que el rendimiento térmico del inversor es el diseñado.

Se utiliza el siguiente esquema:

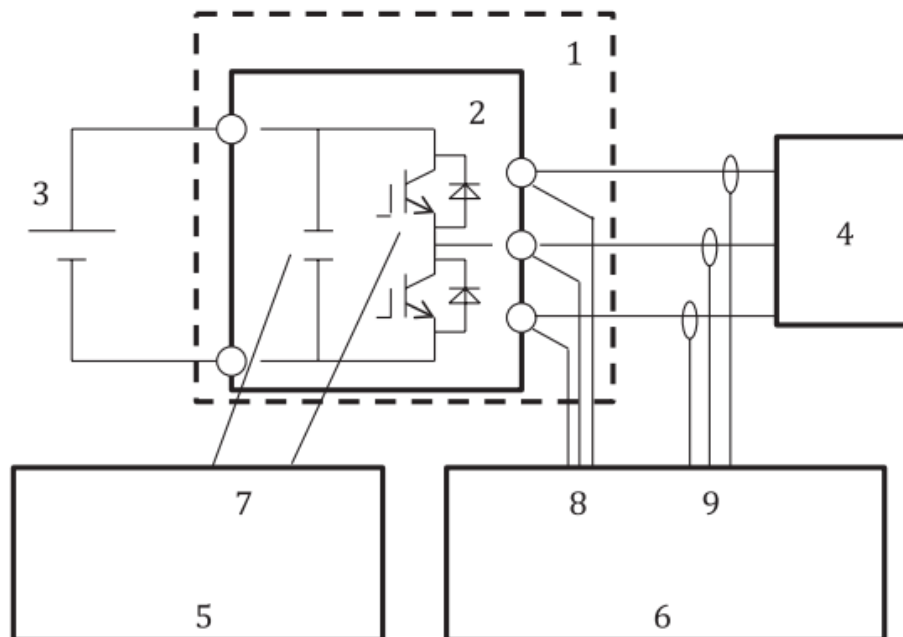


Fig. 40: Esquema ensayo 10 [14]

**Leyenda**

1 DUT	6 Medidor de potencia
2 Inversor bajo ensayo	7 Temperatura (en °C)
3 Suministro de potencia en DC	8 Tensión de salida del inversor (en V)
4 Carga AC	9 Corriente de salida del inversor (en A)
5 Medidor de temperatura	

Como carga AC se pueden usar los mismos que en el ensayo 9. Los puntos en los que se va a operar en este ensayo, con sus respectivos tiempos de operación se muestran en la tabla XIII.

TABLA XIII  
PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 10

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2, 10
b	1800

Si es posible conectar el refrigerador entre el inversor y el motor. El refrigerante debe fluir del inversor hasta el motor y el ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

A la hora de realizar el ensayo se le hace trabajar al inversor en uno de los puntos de funcionamiento ya mencionados. Antes de ponerlo a trabajar se debe medir la temperatura en los diferentes puntos del inversor y se debe volver a medir la temperatura después de que pase el tiempo especificado en cada punto.

Hay que medir la temperatura en los puntos de entrada y salida de la ventilación, también en los puntos de máxima temperatura cercanos al bobinado y en el electrodo de potencia del inversor.

#### 6.3.7. Ensayo 11: Pérdidas, eficiencia y ratio de conversión del chopper

Este ensayo sigue la misma metodología que los anteriores ensayos que se han explicado del mismo estilo. La diferencia, es que esa metodología se va a aplicar sobre el interruptor que corta la señal, es decir, el chopper.

Se utiliza el siguiente esquema:

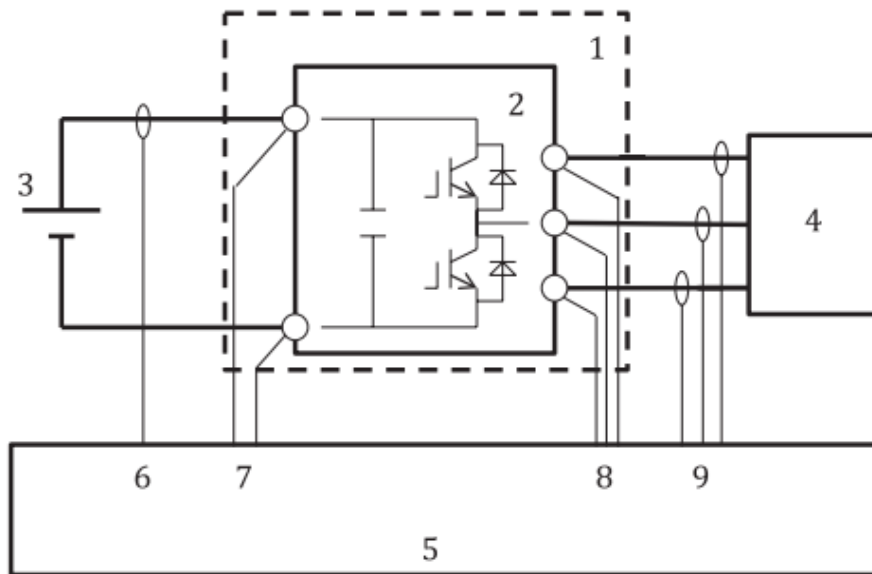


Fig. 41: Esquema ensayo 11 [14]

**Leyenda**

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 DUT                          | 6 Corriente de entrada al chopper(en A)  |
| 2 Chopper bajo ensayo          | 7 Tensión de entrada al chopper (en V)   |
| 3 Suministro de potencia en DC | 8 Tensión de salida del chopper (en V)   |
| 4 Carga AC                     | 9 Corriente de salida del chopper (en A) |
| 5 Medidor de potencia          |  |

El ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario, la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.

Los puntos en los que se va a operar en este ensayo, con sus respectivos tiempos de operación se muestran en la tabla XIV.

TABLA XIV

PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 11

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2, 10
b	1800

Se debe guardar la media del último segundo de operación de la potencia de entrada y la potencia de salida. Con los datos obtenidos, se introducen en las

mismas fórmulas que en el ensayo 9. Para calcular la eficiencia, el ratio de conversión y las pérdidas.

#### 6.3.8. Ensayo 12: Aumento de temperatura del chopper

Como en el resto de los ensayos de aumento de temperatura, se va a estudiar cómo le afecta este factor térmico al chopper y de esta manera comprobar si su rendimiento térmico es igual al diseñado.

Se utiliza el siguiente esquema:

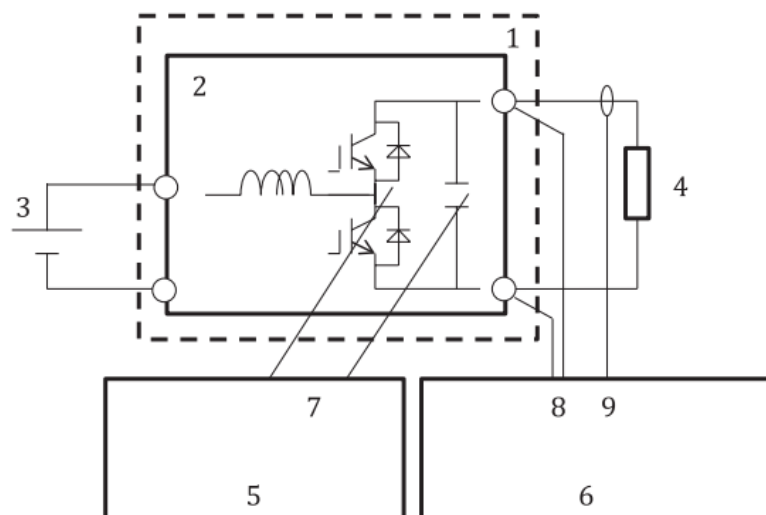


Fig. 42: Esquema ensayo 12 [14]

#### **Leyenda**

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 DUT                          | 6 Medidor de potencia                    |
| 2 Chopper bajo ensayo          | 7 Temperatura (en °C)                    |
| 3 Suministro de potencia en DC | 8 Tensión de salida del chopper (en V)   |
| 4 Carga AC                     | 9 Corriente de salida del chopper (en A) |
| 5 Medidor de temperatura       |  |

El ensayo debe realizarse con una temperatura de refrigeración de 65 °C de lo contrario, la configuración o la desviación de la temperatura debe ser documentada en el resultado de la prueba.



TABLA XV

PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO ENSAYO 12

Puntos de operación	Tiempo (seg)
a	2 , 10
b	1800

Para realizar el ensayo hay que tener que el chopper debe estar operando en las condiciones y durante el tiempo que se marca en la tabla anterior y la temperatura del chopper tiene que ser medida una vez pase ese tiempo especificado.

La temperatura del chopper tiene que ser medida en el electrodo del semiconductor de potencia y en la entrada y la salida de la ventilación o refrigeración. Se pueden añadir puntos de medida adicionales mediante un acuerdo entre el cliente y el proveedor.

#### 6.4. Ensayos de prueba de carga operativa del sistema motor

En este apartado, se van a explicar las pruebas relacionadas con la fatiga y con la operación del sistema motor durante periodos largos de tiempo fuera de sus límites habituales de operación, de esta manera se consigue clasificar el elemento a ensayar.

##### 6.4.1. Ensayo 13: Ensayo de resistencia del sistema motor

En este ensayo se le va a evaluar y dar un rango de fuerza a los componentes (llave del eje del motor, accesorio del rotor, pieza de ajuste del eje, accesorios del estator, chip semiconductor de potencia y condensador de bus de CC) que son afectados por la fatiga mecánica y la fatiga eléctrica. Este ensayo consiste en repetir operaciones trabajando en los límites más altos de las especificaciones del sistema motor.

Se utiliza el siguiente esquema:

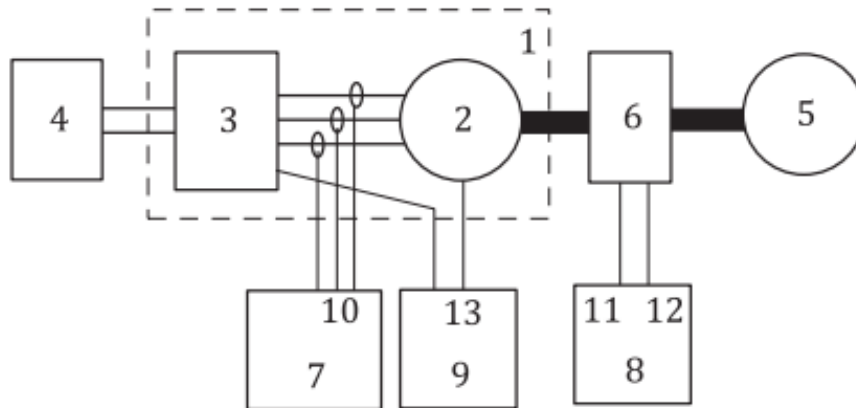
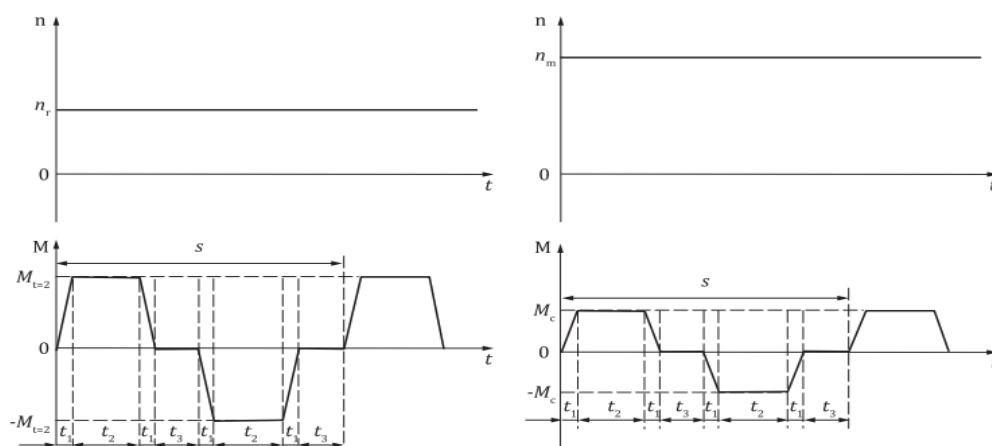


Fig. 43: Esquema ensayo 13 [14]

**Leyenda**

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 DUT                          | 7 Medidor de potencia                          |
| 2 Motor                        | 8 Medidor de par/velocidad                     |
| 3 Inversor                     | 9 Medidor de temperatura                       |
| 4 Suministro de potencia en DC | 10 Corriente salida inversor (en A)            |
| 5 Carga                        | 11 Par del motor (en Nm)                       |
| 6 Sensor par/velocidad         | 12 Velocidad del motor (en $\text{min}^{-1}$ ) |
|                                | 13 Temperatura (en $^{\circ}\text{C}$ )        |

El sistema de refrigeración estará trabajando al mínimo permitido para un número ilimitado de ciclos. El ensayo consiste en alternar tanto el modo de par máximo como el de velocidad máxima.



A) Modo de máximo par

B) Modo de máxima velocidad

Fig. 44: Modos de operación ensayo 13 [14]

Descripción de los parámetros:

- $t_1$  debe ser lo más reducido posible.
- $t_2$  debe ser menor a 1 segundo.
- $t_3$  debe ser controlado para que la temperatura del motor no sobrepase la máxima temperatura para una capacidad operativa ilimitada.

Se debe alternar entre el modo de par máximo y el modo de velocidad máxima de la manera mostrada en la siguiente figura y se repetirá el número de ciclos como muestra el rango correspondiente. La temperatura de cada parte del sistema motor debe ser controlada para que estén sustancialmente iguales a la temperatura de saturación.

La figura X muestra como se alternaran ambos ciclos:

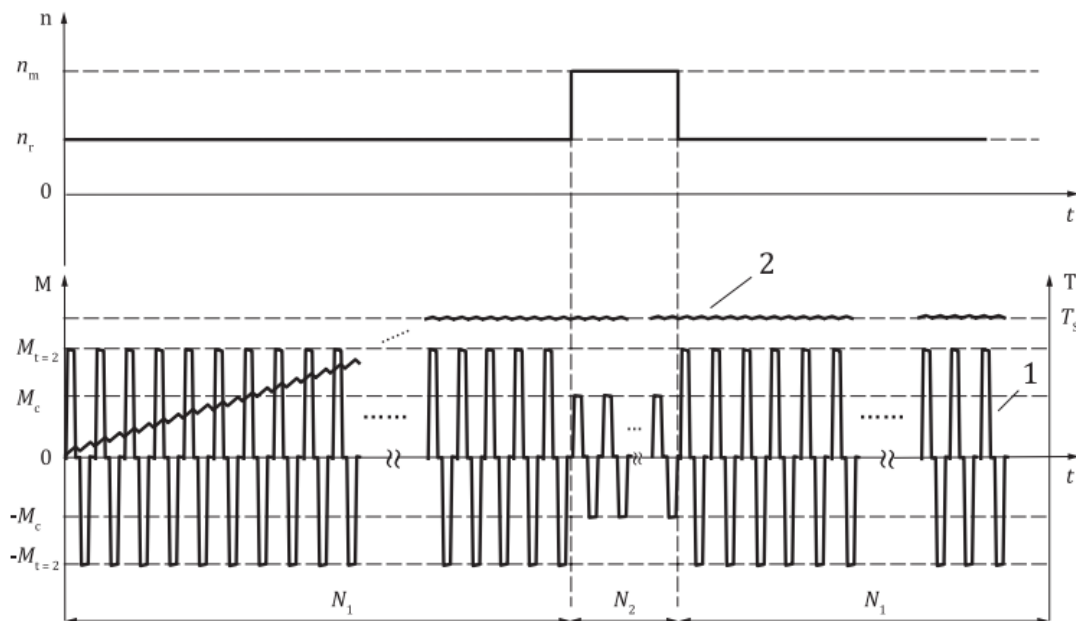


Fig. 45: *Secuencia de ciclos ensayo 13* [14]

De la figura X,  $N_1$  es el modo de máximo par y  $N_2$  es el modo de máxima velocidad. Como se puede observar se empieza el primer ciclo con el modo de máximo par y hasta que no se alcanza la temperatura de saturación los ciclos no se empiezan a contar. El raito de ciclos  $N_1:N_2$  debe ser de 17:3.

TABLA XVI

VALOR DE LOS PARAMETROS  $N_1$  Y  $N_2$  EN EL ENSAYO 13 [14]

Parameters	Value <sup>a</sup>
$N_1$	850
$N_2$	150

<sup>a</sup> The value of parameters  $N_1$  and  $N_2$  can be decided by agreement between the supplier and customer. But the ratio of  $N_1$  and  $N_2$  shall be 850:150(17:3).

Como se trata de un ensayo de resistencia el proposito es estudiar como le afecta trabajar al sistema motor durante largos periodos de tiempo en estas condiciones. Es por ello que para clasificarlo se estudiará el numero de ciclos que es capaz de soportar. Según el número de ciclos que llegue a soportar se le dara una letra, siendo la letra C la peor clasificacion y la letra S la mejor.

TABLA XVII

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL NUMERO DE CICLOS DEL ENSAYO 13 [14]

Ranks	Number of cycles
S	2 000 000
A	1 000 000
B	500 000
C	300 000

El numero de ciclos debe empezar por el rango C que esta mostrado anteriormente, la confirmación por energización y por desmontaje debe realizarse después de la prueba de resistencia. Antes de empezar se marca un rango objetivo, tras cada rango se debe comprobar la energización y después del rango objetivo se debe comprobar con el desmontaje. Dichas comprobaciones se encuentran en el apartado 2 de Anexos.

#### 6.4.2. Ensayo 14: Picos de tensión del sistema motor

Este ensayo trata de comprobar que se cumple con las especificaciones de tensión en el terminal de voltaje de entrada teniendo en cuenta las condiciones de temperatura, humedad, presión y durabilidad.

Se utiliza el siguiente esquema:

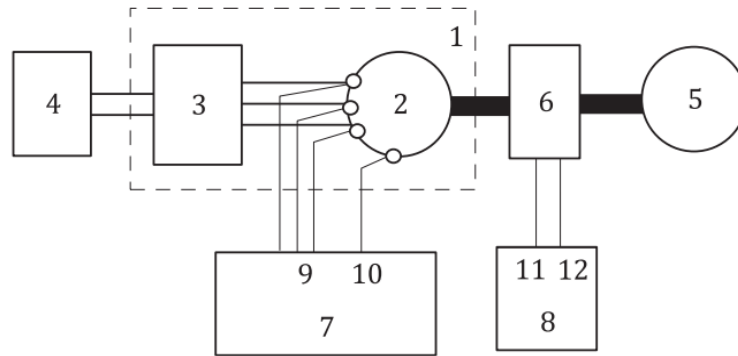


Fig. 46: Esquema ensayo 14 [14]

**Leyenda**

1 DUT	7 Medidor de tensión
2 Motor	8 Medidor de par/velocidad
3 Inversor	9 Tensión de entrada al motor (en V)
4 Suministro de potencia en DC	10 Tensión carcasa del motor (en V)
5 Carga	11 Par del motor (en Nm)
6 Sensor par/velocidad	12 Velocidad del motor (en $\text{min}^{-1}$ )

Para la realización de este ensayo el motor debe trabajar únicamente en el punto de funcionamiento “a”, en el caso de que no se alcance la potencia máxima en dicho punto, se le hará trabajar en el punto de funcionamiento “a’”. El sistema de refrigeración tienen que estar operando al mínimo que permita una operación ilimitada.

Se hará trabajar al motor durante el tiempo que marque el punto “a” o el punto “a’”. Durante todo ese tiempo la onda del voltaje debe ser monitorizada y almacenada, una vez termine el periodo de operación el valor de la sobretensión será el valor pico-pico de la onda del voltaje medido.

**6.4.3. Ensayo 15: Overspeed**

El objetivo de este ensayo es garantizar que no ocurren fallos de control cuando se somete al sistema motor a trabajar por encima de su velocidad nominal en distintos puntos de operación establecidos.

Se utiliza el siguiente esquema:

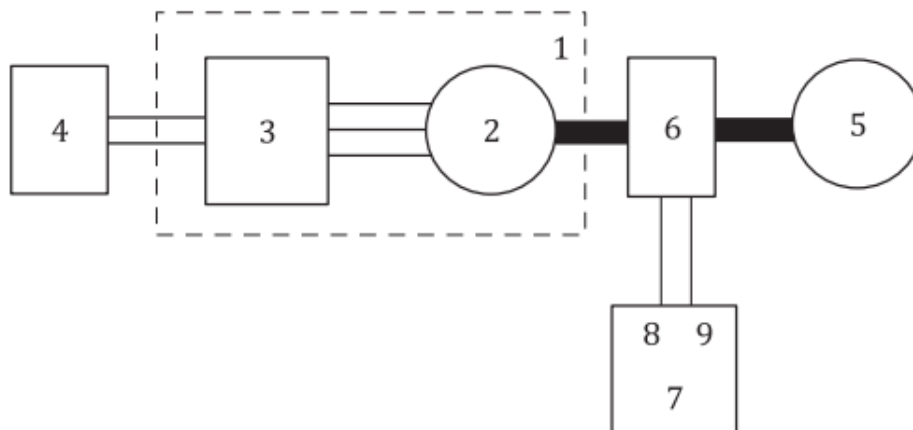


Fig. 47: Esquema ensayo 15 [14]

**Leyenda**

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1 DUT                          | 6 Sensor par/velocidad                        |
| 2 Motor                        | 7 Medidor de tensión                          |
| 3 Inversor                     | 8 Par del motor (en Nm)                       |
| 4 Suministro de potencia en DC | 9 Velocidad del motor (en $\text{min}^{-1}$ ) |
| 5 Carga                        |   |

Antes de realizar el ensayo debe medirse el par del motor en los puntos de funcionamiento “a” y “c” para compararlos con los resultados después de haber realizado este ensayo.

Para realizar el ensayo el motor debe ser acelerado hasta la velocidad seleccionada y una vez alcanzada esa velocidad, mantenerse durante 2 min a esta velocidad, únicamente con el dinamómetro. Dependiendo la velocidad que se haya alcanzado se le da un rango al motor, siendo S el mejor y D el peor.

TABLA XVIII

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD DEL ENSAYO 15 [14]

Ranks	Over speed
S	>125 % of $n_m$
A	120 % of $n_m$
B	115 % of $n_m$
C	110 % of $n_m$
D	105 % of $n_m$

Durante la realización del ensayo no puede producirse ningún fallo de control. Algunos ejemplos son sobre corrientes o sobretensiones que afecten a la energización del motor o que también puedan afectar a una mayor o menor cantidad de par.

Después del ensayo, el par del motor debe ser medido usando el banco de carga en los puntos de funcionamiento en los puntos “a” y “c”. La diferencia entre el par de antes y después no debe ser mayor a un 5%. Si se cumple esto, el rango alcanzado por el sistema motor es válido.

### 6.5. Ensayos de operación en carga del motor e inversor

Dentro de esta parte se va a ensayar principalmente la resistencia del motor, la resistencia del inversor y la fuerza del rotor.

#### 6.5.1. Ensayo 16: Resistencia de aceleración y desaceleración

El principal propósito de este ensayo es evaluar la fuerza de los componentes que son afectados por fatiga mecánica por la repetición intermitente de la máxima aceleración del motor. El test consiste en hacer acciones repetitivas por encima de los límites del motor.

Se utiliza el siguiente esquema:

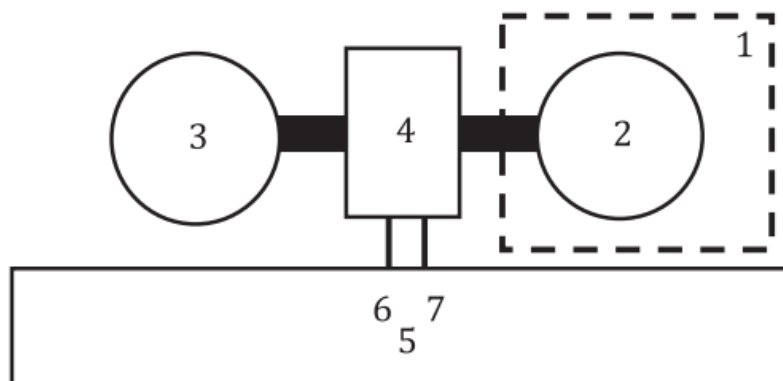


Fig. 48: Esquema ensayo 16 [14]

**Leyenda**

1 DUT

2 Motor

3 Dinamometro

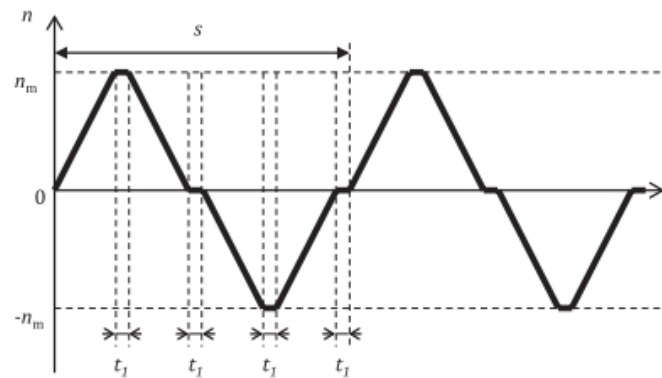
4 Sensor par/velocidad

5 Medidor de par/velocidad

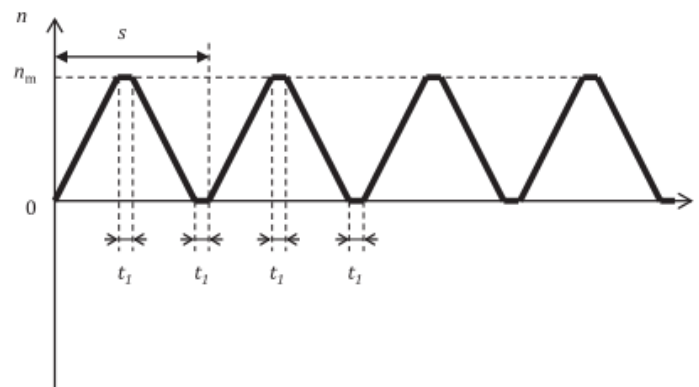
6 Par del motor (en Nm)

7 Velocidad del motor (en  $\text{min}^{-1}$ )

Este ensayo se realiza de 2 maneras distintas en función del tipo de motor a ensayar (si es unidireccional o bidireccional). El motor es acelerado y desacelerado en ambos sentidos (si es posible) hasta su máxima velocidad sin carga según las especificaciones del motor. Esto se puede ver en la figura X, el tiempo  $t_1$  que aparece en la figura debe reducirse lo máximo posible (ej. 1 s).



A) Patrón motor bidireccional



B) Patrón motor unidireccional

Fig. 49: Patrón de ensayo 16 según el tipo de motor [14]

Para dar un rango al motor hay que llegar a un número determinado de ciclos. Se debe empezar por el rango más bajo, el C, y de ahí ir aumentando rango



a rango hasta alcanzar el rango objetivo del ensayo. Después de cada rango hay que realizar las comprobaciones de energización y después de haber alcanzado el rango objetivo se deben realizar las comprobaciones de desmontaje. Una vez finalizadas las comprobaciones se dará el rango por válido y se le dará el rango al motor. Las comprobaciones están en el apartado 2 de Anexos.

TABLA XIX

*CLASIFICACIÓN SEGÚN NÚMERO DE CICLOS ENSAYO 16 [14]*

<b>Ranks</b>	<b>Number of cycles</b>
S	500 000
A	300 000
B	200 000
C	100 000

A) Bidireccional

<b>Ranks</b>	<b>Number of cycles</b>
S	1 000 000
A	600 000
B	400 000
C	200 000

B) Unidireccional

#### 6.5.2. Ensayo 17: Resistencia al par máximo del motor

En este ensayo se evalúa la fuerza y rango de los componentes que son afectados por la fatiga mecánica debido a la repetición intermitente del par máximo del motor. Consiste en operaciones repetitivas por encima de los límites del motor.

Se utiliza el siguiente esquema:

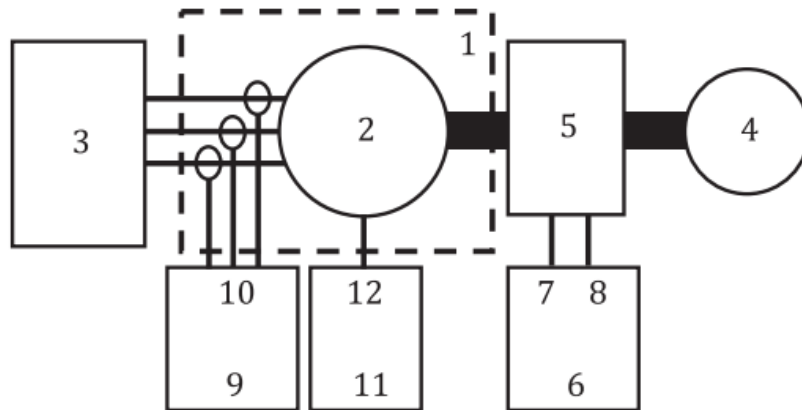


Fig. 50: Esquema ensayo 17 [14]

**Leyenda**

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1 DUT                      | 7 Par del motor (en Nm)                       |
| 2 Motor                    | 8 Velocidad del motor (en $\text{min}^{-1}$ ) |
| 3 Inversor                 | 9 Medidor de potencia                         |
| 4 Carga                    | 10 Corriente entrada motor (en A)             |
| 5 Sensor par/velocidad     | 11 Medidor de temperatura                     |
| 6 Medidor de par/velocidad | 12 Temperatura (en $^{\circ}\text{C}$ )       |

En la realización del ensayo, el sistema de refrigeración debe mantenerse al mínimo que permita un ratio de operación ilimitado. La velocidad debe estar en todo momento entre el punto de funcionamiento “a” y el “d” y se realizarán los ciclos de par representados en la figura 51.

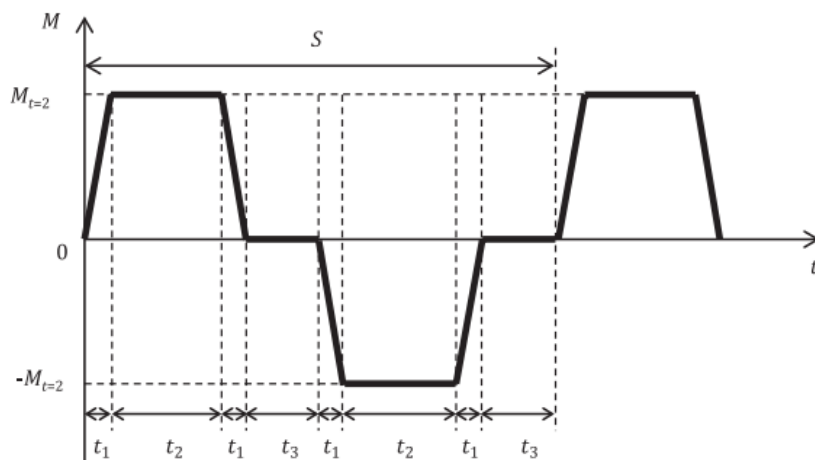


Fig. 51: Representación de ciclo de par ensayo 17 [14]

Los tiempos son los siguientes:

- $t_1$  debe ser reducido al mínimo posible.
- $t_2$  debe ser menor a 1 segundo.
- $t_3$  debe ser controlado para que la potencia de salida promedio sea la misma que la carga continua permisible del motor

Una vez descrito un ciclo, se puede realizar el ensayo, el cual será una secuencia de estos ciclos. Al tratarse de un ensayo de resistencia, consistirá en repetir estos ciclos durante un tiempo prolongado y en función del número de ciclos que se consigan realizar, se le otorgará un rango al motor que se está ensayando. Una vez se comience el ensayo, no se debe sobrepasar en ningún momento la temperatura de saturación del motor.

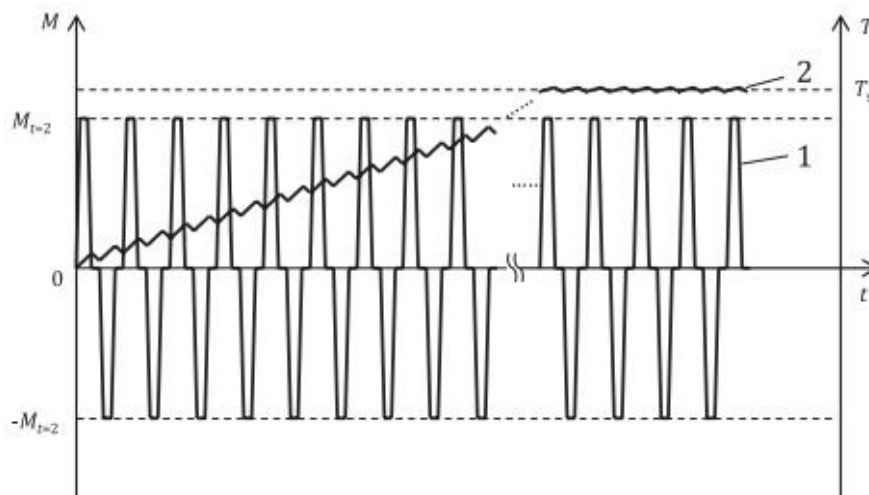


Fig. 52: Representación completa ensayo 17 [9]

TABLA XX

CLASIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CICLOS ENSAYO 17 [14]

Ranks	Number of cycles
S	2 000 000
A	1 000 000
B	500 000
C	300 000

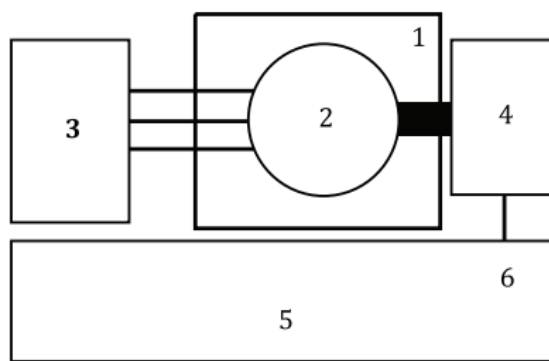
El ensayo comenzara por el rango más bajo, el C, después de alcanzar cada rango se deberán realizar las comprobaciones de energización. A no ser que el cliente y el proveedor pacten realizar esta comprobación únicamente después

del rango objetivo. Una vez ya finalizado el ensayo, se deberá realizar la comprobación de desmontaje y si esta se cumple, se le otorgará al motor el rango alcanzado. Estas comprobaciones se encuentran en el punto 2 de Anexos.

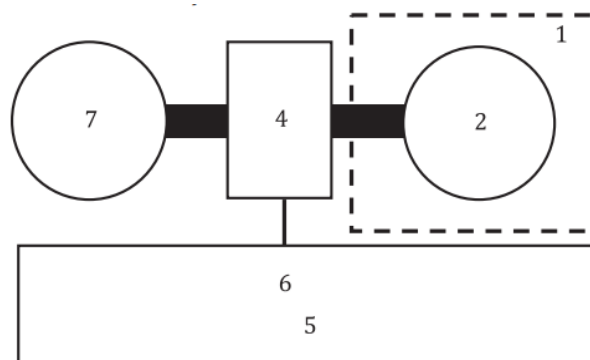
6.5.3. Ensayo 18: Resistencia del motor al overspeed

El objetivo de este ensayo es evaluar y dar un rango a la fuerza de los componentes del rotor que son afectados por fatiga mecánica, el ensayo se realiza a velocidades por encima de la máxima del motor.

Hay dos esquemas posibles que se pueden utilizar, uno es utilizando un inversor y otro es utilizando un dinamómetro.



A) Esquema con inversor



B) Esquema con dinamómetro

Fig. 53: Esquemas ensayo 18 [14]

**Leyenda**

1 DUT

2 Motor

3 Inversor

4 Detector de velocidad

5 Medidor de velocidad

6 Velocidad del motor (en  $\text{min}^{-1}$ )

7 Dinamómetro

En la realización del ensayo, se va a hacer trabajar al motor durante 2 minutos a una velocidad superior a su velocidad nominal. Dependiendo del porcentaje respecto a su velocidad nominal a la que se consiga trabajar se le otorgara el primer rango.

TABLA XXI

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD ENSAYO 18 [14]

<b>Ranks</b>	<b>Over speed</b>
S	150 % of maximum operating speed
A	140 % of maximum operating speed
B	130 % of maximum operating speed
C	120 % of maximum operating speed
D	110 % of maximum operating speed

Una vez realizado el ensayo se deben realizar las comprobaciones de energización y la investigación por desmontaje. Si ambas se cumplen el resultado obtenido en el ensayo será el adecuado. Estas comprobaciones se pueden consultar en el punto 2 de Anexos.

El segundo rango, se obtiene midiendo el rendimiento después de realizar el ensayo, según los resultados obtenidos se le otorgará un rango al motor. Es decir, el resultado de este ensayo en el caso de que finalice correctamente, todo motor obtendrá una clasificación de dos letras mayúsculas. La primera indicando la velocidad que es capaz de soportar y la segunda indicando el rendimiento después de haber estado trabajando a dicha velocidad.

TABLA XXII

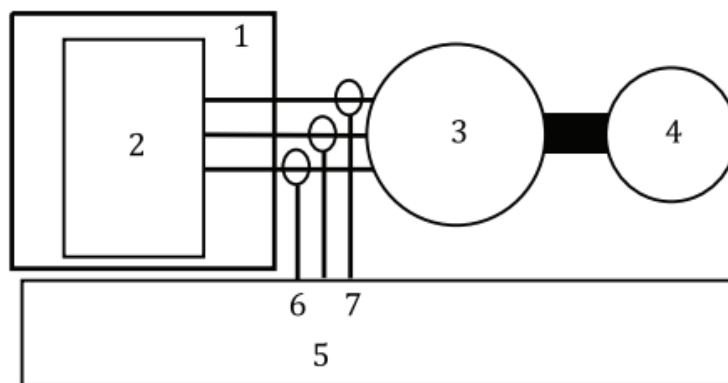
CLASIFICACIÓN SEGÚN EL RENDIMIENTO TRAS ENSAYO 18 [14]

<b>Ranks</b>	<b>Motor performance after test</b>
A	Electric performance and mechanical performance meet the manufacturer's acceptance value.
B	The vibration of motor after the test increases, however, there is no visible local damage, crack, or deformation on the rotor section (magnetic steel sheet, endplate, end ring, balance weight).
C	The signal of position sensor is defective, and the motor cannot be operated. There is visible local damage, crack, or deformation on the rotor section (magnetic steel sheet, endplate, end ring, balance weight).

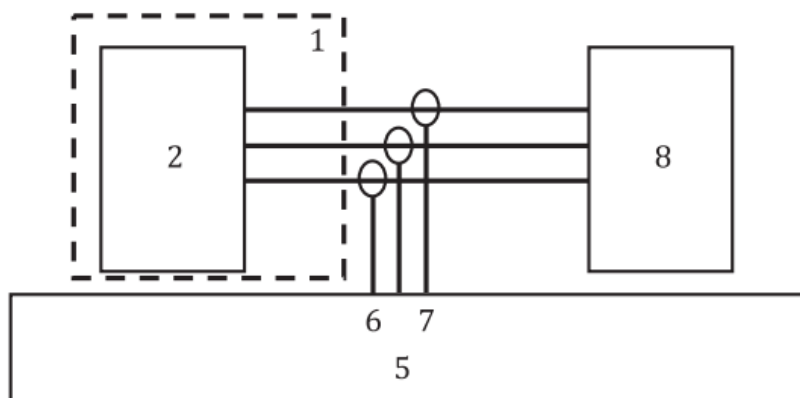
6.5.4. Ensayo 19: Resistencia del inversor

El ensayo consiste en realizar operaciones repetitivas con una corriente representativa a la corriente de salida del inversor. El ensayo, incluyendo los objetivos y el tiempo, trata de prevenir los fallos en los principales elementos de conversión de potencia.

Se puede seguir dos esquemas diferentes a la hora de realizar el ensayo, dependiendo si se utiliza el motor real o se utiliza un emulador de dicho motor.



A) Esquema motor real



B) Esquema emulador del motor

Fig. 54: Esquemas ensayo 19 [14]

- Leyenda**  
 1 DUT  
 2 Inversor  
 3 Motor

- 4 Carga
- 5 Medidor de potencia
- 6 Corriente de salida del inversor (en A)
- 7 Frecuencia de salida del inversor (en Hz)
- 8 Emulador de motor

El sistema de refrigeración deberá estar operando al mínimo posible que permita un número ilimitado de ciclos. En el caso de que se quisiera realizar el ensayo sin la actuación del sistema de refrigeración tendría que ser bajo acuerdo entre el cliente y el proveedor.

El ensayo consiste en realizar 3.000 ciclos como el descrito en la figura 55.

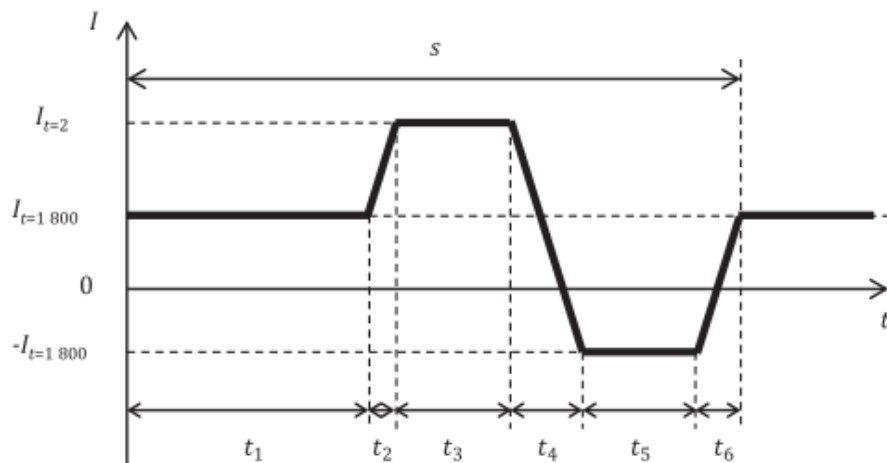


Fig. 55: Representación de un ciclo ensayo 19 [14]

### Leyenda

t	Tiempo (en segundos)
I	Corriente (en A)
$I_{t=2}$	Máxima corriente para la duración de 2 segundos (en A)
$I_{t=1800}$	Máxima corriente para la duración de 1800 segundos (en A)
$-I_{t=1800}$	Máxima corriente regenerativa para la duración de 1800 segundos (en A)
s	1 ciclo
$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$	Parametros de tiempo

TABLA XXIII  
PARÁMETROS DE UN CICLO DEL ENSAYO 19 [14]

Time parameters	Inverter output current	Operating points	Operating time (in s)
$t_1$	$I_{t=1\ 800}$	b	120
$t_2$	Transfer from $I_{t=1\ 800}$ to $I_{t=2}$	b to a	3
$t_3$	$I_{t=2}$	a	2
$t_4$	Transfer from $I_{t=2}$ to $-I_{t=1\ 800}$	a to f	4
$t_5$	$-I_{t=1\ 800}$	f	30
$t_6$	Transfer from $-I_{t=1\ 800}$ to $I_{t=1\ 800}$	f to b	3
1 cycle cumulative time			162
Number of cycles			3 000 cycles

NOTE  $t_6$  can be changed not to exceed the rated power of the inverter.

Una vez realizados los 3.000 ciclos se dará el ensayo como finalizado. Tras esto, se realizará la confirmación por desmontaje. Estas comprobaciones se encuentran en el apartado 2 de Anexos. Deben cumplirse todas para que el inversor pase el ensayo y confirme que no se han detectado problemas en el diseño del inversor y/o en la fabricación de este.

#### 6.5.5. Ensayo 20: Fuerza de rotura del rotor

En este ensayo, se estudia la fuerza mecánica del rotor del motor. Este ensayo es opcional, ya que se trata de un ensayo de rotura y puede llegar a suponer un gran coste económico. Para realizarse debe haber mutuo acuerdo entre cliente y proveedor.

Se utiliza el siguiente esquema:



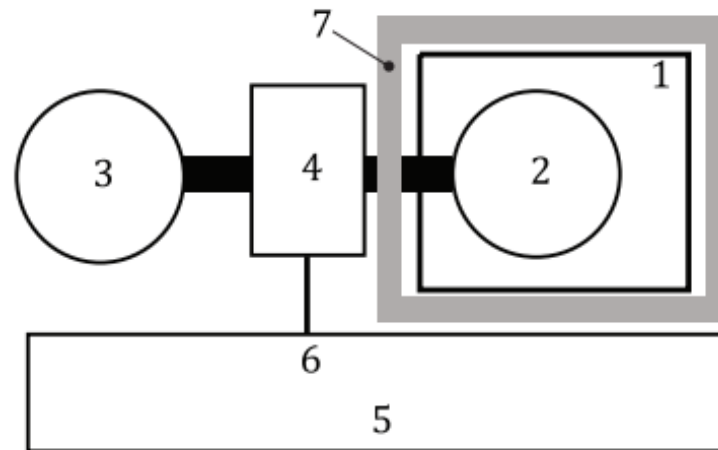


Fig. 56: Esquema ensayo 20 [14]

**Leyenda**

- 1 DUT
- 2 Rotor
- 3 Testeador de giro
- 4 Sensor de velocidad
- 5 Medida de velocidad
- 6 Velocidad del motor (en  $\text{min}^{-1}$ )
- 7 Barrera de protección contra ruptura

En la realización de este ensayo únicamente se utilizará un rotor y se seguirán los siguientes pasos:

- a) Se medirá el diametro exterior del rotor antes de realizar el ensayo.
- b) La velocidad debe ser incrementada al inicio del ensayo, a un mínimo de 120 % de la máxima velocidad de operación y a partir de ahí subir de un 10 % en un 10 % de la máxima velocidad de operación.
- c) La aceleración de subida hasta la velocidad fijada debe ser de  $100 \text{ min}^{-1}/\text{s}$ .
- d) Después de mantenerse a esa velocidad durante un minuto, se para el rotor y se mide el diámetro exterior de este.
- e) Se repiten los pasos del b) al d) hasta que el rotor se rompa

Los puntos de medida, el método de medida y el entorno de medición debe ser acordado entre el proveedor y el cliente. Si no hay un acuerdo, se realizara en orden con el siguiente método.

- 1) Marcar la parte más débil del diámetro exterior del rotor en el eje de dirección. El número de marcas es un número con el que se puede determinar la deformación plástica midiendo la longitud y comparándolas.
- 2) Las medidas deben ser realizadas con un micrómetro.

Tras la rotura del rotor se le asigna un rango al motor, este viene dado por el momento en el que se produzca la rotura o la deformación permanente del rotor.

TABLA XXIV

*RANGO SEGÚN LA VELOCIDAD SOPORTADA EN EL ENSAYO 20 [14]*

<b>Ranks</b>	<b>Speed before permanent abnormal deformation</b>
S	Above 200 % of the maximum operating speed
A	200 % of the maximum operating speed
B	190 % of the maximum operating speed
C	180 % of the maximum operating speed
D	170 % of the maximum operating speed
E	160 % of the maximum operating speed
F	150 % of the maximum operating speed
G	140 % of the maximum operating speed
H	130 % of the maximum operating speed
I	120 % of the maximum operating speed

## 7.MAPAS DE EFICIENCIA

En este apartado, se explica cómo realizar los mapas de eficiencia de un motor, los cuales ya se han explicado en puntos anteriores del presente trabajo y dan una idea general del rendimiento del motor en todo su rango de par-velocidad.

Para realizar esto, la forma más sencilla es realizar un barrido a lo largo del plano par-velocidad. Para esto se definen una serie de puntos de funcionamiento, dentro del rango de operación del motor, donde se le hará trabajar al motor. De esta manera, en cada punto se mide el par y velocidad para obtener la potencia de entrada y la tensión y corriente a la entrada del motor, para obtener la potencia de salida. Pudiendo así, calcular el rendimiento y poder realizar el mapa de eficiencia.

Para definir los puntos se toman los valores límites del motor, tanto el de par como el de velocidad. Una vez se obtienen esos valores límites, se divide la franja del límite superior y el inferior entre unos 10 y 15 puntos, quedando una matriz de puntos en el plano par-velocidad, como la que se muestra en la Figura 57.

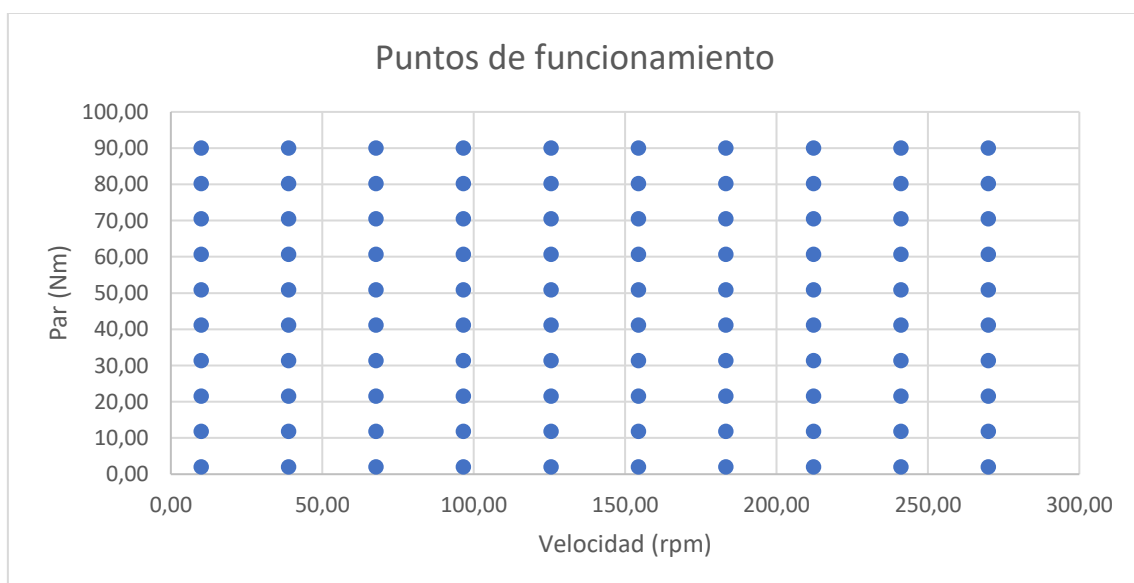


Fig. 57: Puntos de funcionamiento para el mapa de eficiencia del servomotor

Los puntos de funcionamiento mostrados en la figura anterior, son los correspondientes a los puntos del servomotor que se estudia en el presente trabajo.

El primer punto de funcionamiento, es el correspondiente al punto inferior izquierdo, el punto de menor par y velocidad. Después de medir el rendimiento en dicho punto se sigue por el punto superior, realizando la medida de rendimiento a lo largo de toda la columna. Una vez se mide el rendimiento en toda la columna, es decir, a distintos niveles de par, dejando la velocidad fija. Se pasa a la siguiente columna y se sigue el mismo procedimiento. Una vez terminadas todas las columnas y habiéndose medido el rendimiento en todos y cada uno de los puntos, se puede realizar el mapa en 3D de par-velocidad-rendimiento.

Para comprobar el aspecto del mapa mencionado, se ha realizado un primer mapa del servomotor, obviando los primeros puntos ya que la precisión de los sensores no era suficiente para detectar bien las señales con tan poco valor. También hay que tener en cuenta que el motor no puede trabajar en todos los puntos de la matriz debido a sus límites mecánicos y eléctricos.

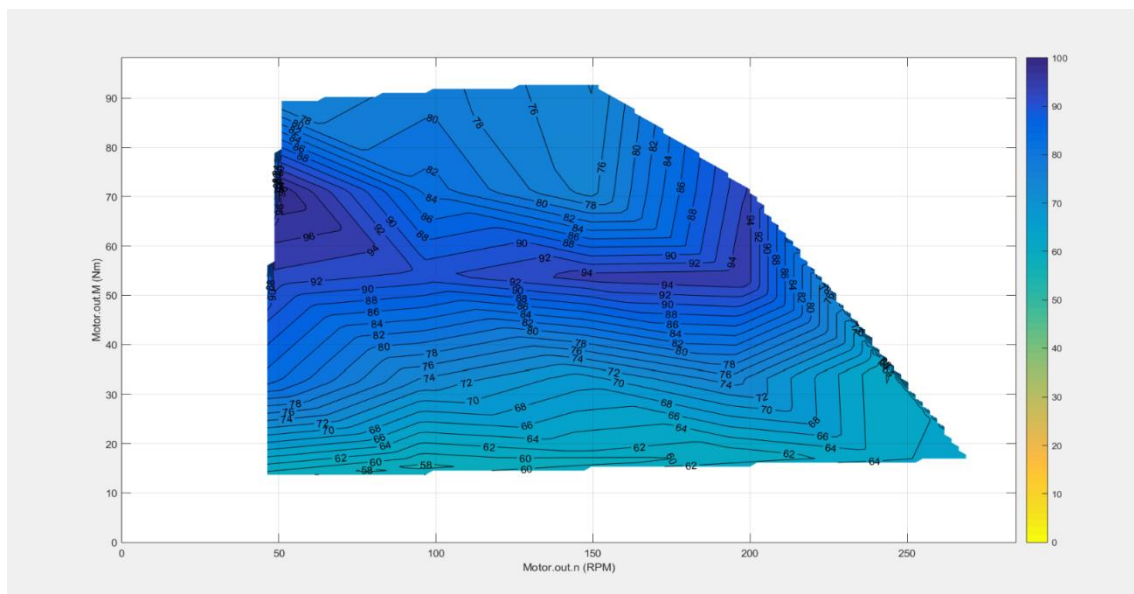


Fig. 58: Mapa rendimiento servomotor

## 8.PROBLEMAS ENCONTRADOS

Los principales problemas encontrados han surgido con la puesta en marcha del banco, aunque también ha surgido alguno en el estudio de la normativa. Ya que la norma ISO 21782 deja muchos puntos a elección de cliente y el proveedor. Además del estudio de las diversas normativas relacionadas con las baterías que eran muy diversas.

A la hora de poner en funcionamiento el banco han surgido diversos inconvenientes como son:

- No conocer la velocidad nominal del motor, esto ha dificultado a la hora de ajustar los puntos de funcionamiento, ya que si se hace trabajar al motor fuera de sus puntos nominales se puede dañar su aislamiento.
- Utilización de señal compartida entre el controlador y adquisidor de datos. Al compartir la señal de velocidad se generaban errores y esto hacia que el controlador del banco fallase.
- También en unas primeras mediciones, se tuvo problemas con el ordenador que se estaba utilizando, ya que al conectarlo con el adquisidor de datos el sistema fallaba, por lo que se optó por cambiar de equipo y el problema desapareció.
- Ajuste de la señal de la velocidad dentro del software Perception. El ajuste de la señal de velocidad se realizó de manera errónea, por lo que los rendimientos y valores no eran los reales. Para solucionarlo se fue midiendo mediante el software los distintos valores de tensión y en Excel se adquirió la ecuación de la recta de calibración.
- Por último, los largos plazos de entrega, los cuales no han permitido utilizar el sensor de par que estaba previsto. Por lo que se ha tenido que utilizar el mencionado en el proyecto, el cual se tuvo que ajustar su recta de calibración al software Perception.

## 9.CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

Se puede confirmar que se ha cumplido el primer y principal objetivo del presente trabajo. El cual era diseñar un procedimiento operativo para la validación y estudio de motores eléctricos en trenes de propulsión del vehículo eléctrico.

Además del cumplimiento del principal objetivo, se han obtenido múltiples conocimientos como es un mayor conocimiento en la industria del vehículo eléctrico y su funcionamiento. También se ha logrado entender el funcionamiento y los procesos en la validación de componentes.

En lo relacionado al banco diseñado, es un gran avance ya que, aunque no se pueda ensayar el sistema de propulsión entero sí que permite conocer el comportamiento y consumo del motor, así como las pérdidas en todo su rango de operación.

Hay que recalcar que el adquisidor de datos GEN7tA, puede usarse en cualquier otra función en la que se quieran adquirir datos relacionados con variables eléctricas. Lo cual es muy beneficioso para un centro tecnológico.

El presente proyecto se podría continuar de diversas maneras, ya que el banco diseñado se trata de una primera instalación para probar el equipo y para realizar unas primeras mediciones. A partir de este punto se puede continuar realizando una mayor instalación de un banco donde se pueda estudiar y ensayar desde la batería hasta el motor, de esta manera se podría estudiar y validar todo el sistema de propulsión y NAITEC podría recibir la certificación en la ISO 21782.

En el caso que se llegue a realizar este banco, que es propósito que tiene NAITEC, se puede llegar a realizar simulaciones de consumo WLTP. Estas simulaciones hacen trabajar al tren de potencia en situaciones que trabajaría en las carreteras, tiene un amplio reconocimiento internacional y es la forma de decretar la autonomía del vehículo que utilizan las grandes marcas del sector como pueden ser Tesla o Porsche. Esto abriría grandes opciones de negocio al centro.

## 10. BIBLIOGRAFIA

[1] Asif Faiz; Christopher S. Weaver; Michael P. Walsh “*Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions*”. World Bank Publications. 1996.

[2] Gesthispania “*Tipos de vehículos eléctricos*” [Online]. Disponible: <https://gesthispania.com/los-tipos-de-vehiculos-electricos-toda-la-informacion/>

[3] Vehivle Tech “*How does electric cars work*” [Online]. Disponible: <https://vehivle1.blogspot.com/2019/07/how-does-electric-cars-work-best-electric-cars-vehicles.html>

[4] Motor Pasión “*Tipos de cargador para vehículo eléctrico*” [Online]. Disponible: <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/todo-que-hay-que-saber-antes-comprar-cargador-para-coche-electrico-tipos-enchufes-potencias-proteccion-ip-ik>

[5] Honda “*Electric car battery*” [Online]. Disponible: <https://www.honda.es/cars/electric/electric-car-battery.html>

[6] N. López “*Tipos de batería para el coches eléctricos*” [Online]. Disponible: <https://movilidadelectrica.com/tipos-de-baterias-para-coches-electricos-presente-y-futuro/#:~:text=Tipos%20de%20bater%C3%ADa%20para%20coches%20el%C3%A9ctricos%3A%20el%20presente&text=Utilizan%20un%20%20nodo%20de%20oxihidr%C3%B3xido,pero%20no%20son%20tan%20eficientes.>

[7] “*Batería Volkswagen*” [Online]. Diponible: [https://www.netcarshow.com/volkswagen/2019-id\\_space\\_vizzion\\_concept/1600x1200/wallpaper\\_14.htm](https://www.netcarshow.com/volkswagen/2019-id_space_vizzion_concept/1600x1200/wallpaper_14.htm)

[8] CPM Solar “*CC vs CA*” [Online]. Disponible: <https://cpmsolar.com/2019/09/16/la-corriente-continua-cc-vs-ca/>

[9] R. Berizzo “*Conversor e inversor: electrónica básica de los vehículos eléctricos.*” [Online]. Disponible: [https://www.editores-srl.com.ar/autor/ricardo\\_berizzo/20210701\\_conversor\\_e\\_inversor\\_electronica\\_basica\\_de\\_los\\_vehiculos\\_electricos](https://www.editores-srl.com.ar/autor/ricardo_berizzo/20210701_conversor_e_inversor_electronica_basica_de_los_vehiculos_electricos)

[10] Transición energética “*Movilidad sostenible: Vehículo eléctrico*” [Online]. Disponible: <https://www.transicionenergetica.es/movilidad-sostenible/vehiculo-electrico/coches-electricos/>

[11] Elektrowoz “*Volkswagen APP 310*” (2019) [Online]. Disponible: <https://elektrowoz.pl/auta/volkswagen-app-310-oficjalna-nazwa-silnika-vw-id-3-zmiesci-sie-w-torbie-sportowej-ale-ciezko-bedzie-go-uniesc/>

[12] Motor “*¿Cómo es el funcionamiento de un coche eléctrico?*” (2020) [Online]. Disponible: <https://www.motor.es/noticias/motor-coche-electrico-202067941.html>

[13] HBM “*Realización de mapas de eficiencia*” [Online]. Disponible: <https://www.hbm.com/>

[14] Organización Internacional de Normalización “*Electrically propelled road vehicles*” Norma: ISO 21782:2019.



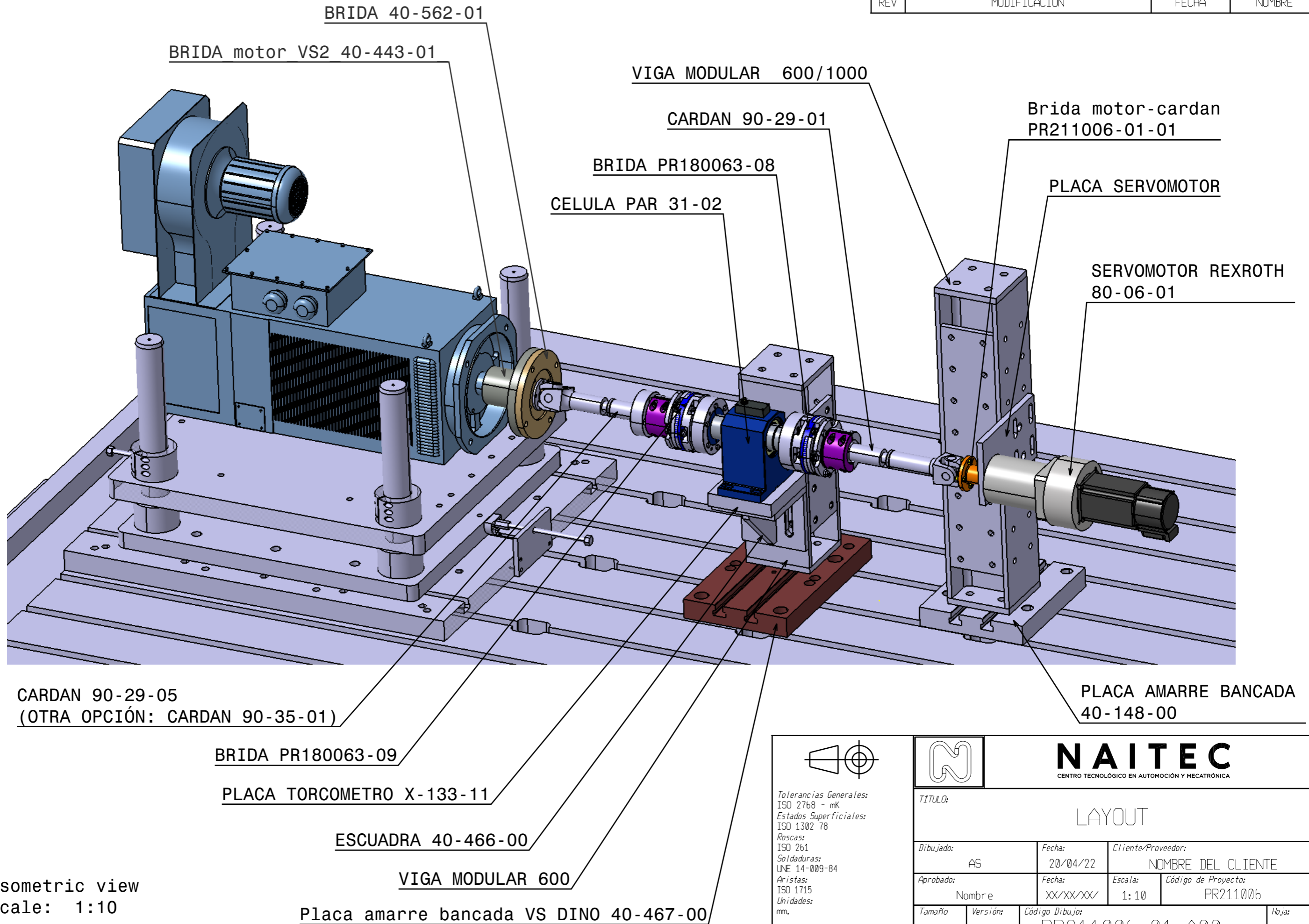
## 11.Anexos

### ÍNDICE

11.1 Plano banco de ensayos

11.2 Tabla de resultados ISO 21782

HISTORICO DE MODIFICACIONES			
REV	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE



Isometric view  
Scale: 1:10

<p>Tolerancias Generales: ISO 2768 - mK Estados Superficiales: ISO 1302 78 Roscas: ISO 261 Soldaduras: UNE 14-009-84 Aristas: ISO 1715 Unidades: mm.</p>
ESPECIFICACIONES

<p><b>NAITEC</b> CENTRO TECNOLÓGICO EN AUTOMOCIÓN Y MECATRÓNICA</p>			
TITULO: <h1 style="text-align: center;">LAYOUT</h1>			
Dibujado: AS	Fecha: 20/04/22	Cliente/Proveedor: NOMBRE DEL CLIENTE	
Aprobado: Nombre	Fecha: XX/XX/XX/	Escala: 1:10	Código de Proyecto: PR211006
Tamaño: A3	Versión: 0	Código Dibujo: PR211006-01-A00	Hoja: 1/1

# Annex A

## (informative)

### Test reports

#### A.1 Total loss and total efficiency of the motor system

**Table A.1 — Total loss and total efficiency of the motor system**

1. Common conditions									
Items		Value						Remark	
Ambient temperature (in °C)									
Ambient humidity (in %)									
Cooling type		Liquid/Air/Others							
Coolant temperature (in °C)									
Coolant flow rate (in l/min)									
2. Results and individual conditions									
Items		Value						Remark	
Operating points		a	a'	b	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	
Operating time (in s)									
Input	Current (in A)								
	Voltage (in V)	Target							
		Measured							
Power (in kW)									
Output	Torque (in Nm)	Target							
		Measured							
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target							
Operating points		p <sub>5</sub>	p <sub>6</sub>	p <sub>7</sub>	p <sub>8</sub>	p <sub>9</sub>	p <sub>10</sub>		
Operating time (in s)									
Input	Current (in A)								
	Voltage (in V)	Target							
		Measured							
Power (in kW)									
Output	Torque (in Nm)	Target							
		Measured							
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target							

**A.2 Temperature rise test of the motor system**

**Table A.2 — Temperature rise test of the motor system**

<b>1. Common conditions</b>				
<b>Items</b>		<b>Value</b>		<b>Remark</b>
DC input voltage (in V)				
Ambient temperature (in °C)				
Ambient humidity (in %)				
Cooling type		Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)				
Coolant flow rate (in l/min)				
<b>2. Results and individual conditions</b>				
<b>Items</b>		<b>Value</b>		<b>Remark</b>
Operating points		a	b	
Operating time (in s)				
Torque (in Nm)	Target			
	Measured			
Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target			
	Measured			
Temperature (in °C)	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	.....			

### A.3 Torque characteristic test of the motor system

Table A.3 — Torque characteristic test of the motor system

1. Common conditions						
Items		Value			Remark	
DC input voltage (in V)						
Ambient temperature (in °C)						
Ambient humidity (in %)						
Cooling type		Liquid/Air/Other				
Coolant temperature (in °C)						
Coolant flow rate (in l/min)						
2. Results and individual conditions						
Items		Value				Remark
Operating points		a	a'	c	d	
Operating time (in s)						
Torque (in Nm)	Target					
	Measured					
Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target					
	Measured					

### A.4 Torque ripple test of the motor system

Table A.4 — Torque ripple test of the motor system

1. Common conditions			
Items		Value	Remark
DC input voltage (in V)			
Ambient temperature (in °C)			
Ambient humidity (in %)			
Cooling type		Liquid/Air/Other	
Coolant temperature (in °C)			
Coolant flow rate (in l/min)			
2. Results and individual conditions			
Items		Value	Remark
Operating points		d'	
Operating time (in s)			
Torque (in Nm)	Target		
	Measured		
Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target		
	Measured		
Peak to peak value of torque ripple (in Nm)			



## Annex B (informative)

### Test report

#### B.1 Motor test

##### B.1.1 Measurement of loss and efficiency

**Table B.1 — Measurement of loss and efficiency of the motor**

1 Common conditions									
Items		Value						Remark	
Inverter input voltage (in V)									
Ambient condition	Temperature (in °C)								
	Humidity (in %)								
Cooling type		Liquid/Air/Others							
Coolant temperature (in °C)									
Coolant flow rate (in l/min)									
Switching frequency (in kHz)									
2 Results and individual conditions									
Items		Value						Remark	
Operating points		a	a'	b	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	
Operating time (in s)									
Input	Current (rms) (in A)								
	Voltage (rms) (in V)								
	Power (in kW)								
Output	Torque (in Nm)	Target							
		Measured							
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target							
		Measured							
Power (in kW)									
Calculated results	Loss of motor (in W)								
	Efficiency of motor (in %)								
Operating points		p <sub>5</sub>	p <sub>6</sub>	p <sub>7</sub>	p <sub>8</sub>	p <sub>9</sub>	p <sub>10</sub>		
Operating time (in s)									
Input	Current (rms) (in A)								
	Voltage (rms) (in V)								
	Power (in kW)								
Output	Torque (in Nm)	Target							
		Measured							
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target							
		Measured							



**Table B.1** (continued)

		Power (in kW)								
Calculated results		Loss of motor (in W)								
		Efficiency of motor (in %)								

**B.1.2 Temperature rise test**

**Table B.2 — Temperature rise test of the motor**

<b>1 Common conditions</b>					
<b>Items</b>			<b>Value</b>		<b>Remark</b>
Inverter input voltage (in V)					
Ambient condition	Temperature (in °C)				
	Humidity (in %)				
Cooling type			Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)					
Coolant flow rate (in l/min)					
Switching frequency (in kHz)					
<b>2 Results and individual conditions</b>					
<b>Items</b>			<b>Value</b>		<b>Remark</b>
Operating points			a	b	
Operating time (in s)					
Output	Torque (in Nm)	Target			
		Measured			
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target			
		Measured			
Temperature (in °C)		Point 1			
		Point 2			
		Point 3			
		Point 4			
		Point 5			
		.....			

**B.1.3 Torque characteristic test**

**Table B.3 — Torque characteristic test of the motor**

<b>1 Common conditions</b>							
<b>Items</b>			<b>Value</b>			<b>Remark</b>	
Inverter input voltage (in V)							
Ambient condition	Temperature (in °C)						
	Humidity (in %)						
Cooling type			Liquid/Air/Other				
Coolant temperature (in °C)							
Coolant flow rate (in l/min)							
<b>2 Results and individual conditions</b>							
<b>Items</b>			<b>Value</b>				<b>Remark</b>
Operating points			a	a'	c	d	
Operating time (in s)							
Output	Torque (in Nm)	Target					
		Measured					
	Speed (in min <sup>-1</sup> )	Target					
		Measured					

**B.1.4 Cogging torque test**

**Table B.4 — Cogging torque test of the motor**

<b>1 Common conditions</b>				
	<b>Items</b>		<b>Value</b>	<b>Remark</b>
	Ambient condition	Temperature (in °C)		
		Humidity (in %)		
<b>2 Results and individual conditions</b>				
	<b>Items</b>		<b>Value</b>	<b>Remark</b>
	Measured motor speed (in min <sup>-1</sup> )			
	Peak to peak value of cogging torque (in Nm)			

## Inverter test

### B.1.5 Measurement of loss, efficiency and conversion rate

Table B.5 — Measurement of loss, efficiency and conversion rate of the inverter

1 Common conditions				
Items		Value		Remark
Inverter input voltage (in V)				
Ambient condition	Temperature (in °C)			
	Humidity (in %)			
Cooling type		Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)				
Coolant flow rate (in l/min)				
Switching frequency (in kHz)				
Type of AC load		Actual motor/Motor emulator/ ACL/RL load		
2 Results and individual conditions				
Items		Value		Remark
Operating points		a	b	
Operating time (in s)				
Input	Current (in A)			
	Voltage (in V)			
	Power (in kW)			
Average input	Current (in A)			
	Voltage (in V)			
	Power (in kW)			
Output	Current (in A)	Target		
		Measured		
	Current frequency (in Hz)	Target		
		Measured		
	Voltage (rms) (in V)			
Power (in kW)				
Fundamental output	Current (rms) (in A)			
	Voltage (rms) (in V)			
	Power (in kW)			
Calculated results	Loss of inverter (in W)			
	Efficiency of inverter (in %)			
	Conversion rate (in %)			

**B.1.6 Temperature rise test**

**Table B.6 — Temperature rise test of the inverter**

<b>1 Common conditions</b>					
<b>Items</b>			<b>Value</b>		<b>Remark</b>
Inverter input voltage (in V)					
Ambient condition	Temperature (in °C)				
	Humidity (in %)				
Cooling type			Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)					
Coolant flow rate (in l/min)					
Switching frequency (in kHz)					
Type of AC load			Actual motor/Motor emulator/ACL/RL load		
<b>2 Results and individual conditions</b>					
<b>Items</b>			<b>Value</b>		<b>Remark</b>
Operating points			a	b	
Operating time (in s)					
Output	Current (rms) (in A)	Target			
		Measured			
	Frequency (in Hz)	Target			
		Measured			
Temperature (in °C)	Point 1				
	Point 2				
	Point 3				
	Point 4				
	Point 5				
	.....				

## B.2 Chopper test

### B.2.1 Measurement of loss, efficiency and conversion rate

**Table B.7 — Measurement of loss, efficiency and conversion rate of chopper**

1 Common conditions				
Items		Value		Remark
Chopper input voltage (in V)				
Ambient condition	Temperature (in °C)			
	Humidity (in %)			
Cooling type		Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)				
Coolant flow rate (in l/min)				
Switching frequency (in kHz)				
2 Results and individual conditions				
Items		Value		Remark
Operating points		a	b	
Operating time (in s)				
Input	Current (in A)			
	Voltage (in V)			
	Power (in kW)			
Average input	Current (in A)			
	Voltage (in V)			
	Power (in kW)			
Output	Current (in A)	Target		
		Measured		
	Voltage (in V)			
Average output	Current (in A)			
	Voltage (in V)			
	Power (in kW)			
Calculated results	Loss of chopper (in W)			
	Efficiency of chopper (in %)			
	Conversion rate (in %)			

**B.2.2 Temperature rise test**

**Table B.8 — Temperature rise test of chopper**

<b>1 Common conditions</b>					
	<b>Items</b>		<b>Value</b>		<b>Remark</b>
	Chopper input voltage (in V)				
Ambient condition	Temperature (in °C)				
	Humidity (in %)				
Cooling type			Liquid/Air/Other		
Coolant temperature (in °C)					
Coolant flow rate (in l/min)					
Switching frequency (in kHz)					
<b>2 Results and individual conditions</b>					
	<b>Items</b>		<b>Value</b>		<b>Remark</b>
	Operating points		a	b	
Operating time (in s)					
Output current (in A)	Target				
	Measured				
Temperature (in °C)	Point 1				
	Point 2				
	Point 3				
	Point 4				
	Point 5				
	.....				



## Annex B (informative)

### Test report

#### B.1 Endurance test

**Table B.1 — Endurance test of the motor system**

1 Test conditions			
	Items	Value	Remark
	Inverter input voltage (in V)		
	Ambient conditions	Temperature (in °C)	
		Humidity (in %)	
	Cooling type	Motor	Liquid / Air
		Inverter	Liquid / Air
	Coolant temperature (in °C)	Motor	
		Inverter	
	Coolant flow rate (in l/min)	Motor	
		Inverter	
	Operating point "a"	Motor speed (in min <sup>-1</sup> )	
		Motor torque (in Nm)	
	Operating point "c"	Motor speed (in min <sup>-1</sup> )	
		Motor torque (in Nm)	
2 Results			
	Items	Value	Remark
	Rank	S / A / B / C	
	Number of cycles (in cycles)		
3 Test requirements — Energizing			
	Items	Value	Remark
	Back-EMF	Pass / Fail	
	Origin position and waveform of position sensor	Pass / Fail	
	Torque-speed characteristics	Operating point "a"	Pass / Fail
		Operating point "c"	Pass / Fail
	Vibration	Pass / Fail	
4 Test requirements — Disassembling			
	Items	Value	Remark
	Motor shaft key	Pass / Fail	
	Rotor magnet fixture (adhesive)	Pass / Fail	
	Shaft tightening (spline, etc.)	Pass / Fail	
	Stator fixtures (thermal insert, bolt)	Pass / Fail	
	Power semiconductor chip	Pass / Fail	
	DC bus capacitor	Pass / Fail	

## B.2 Surge voltage measurement test

Table B.2 — Surge voltage measurement test of the motor system

1 Test conditions					
	Items		Value		Remark
	Inverter input voltage (in V)				
Ambient conditions	Temperature (in °C)				
	Humidity (in %)				
Cooling type	Motor		Liquid / Air		
	Inverter		Liquid / Air		
2 Results and individual conditions					
	Items		Value		Remark
	Test conditions		Operating point "a"	Operating point "a"	
Coolant temperature (in °C)	Motor				
	Inverter				
Coolant flow rate (in l/min)	Motor				
	Inverter				
Surge voltage ( $V_{0p}$ ) (in V)	Input voltage				
	Motor case voltage				

### B.3 Over speed test

**Table B.3 — Over speed test of the motor system**

1 Test conditions				
	Items		Value	Remark
	Ambient conditions	Temperature (in °C)		
		Humidity (in %)		
	Cooling type	Motor	Liquid / Air	
		Inverter	Liquid / Air	
	Coolant temperature (in °C)	Motor		
		Inverter		
	Coolant flow rate (in l/min)	Motor		
		Inverter		
2 Results				
	Items		Value	Remark
	Rank of over speed		S / A / B / C / D	
	Motor speed (in min <sup>-1</sup> )			
	Percentage of $n_m$ (in %)			
	Torque-speed characteristics	Operating point "a"	Pass / Fail	
		Operating point "c"	Pass / Fail	



# Annex A (informative)

## Test report

### A.1 Operation endurance test of motor

**Table A.1 — High acceleration/deceleration endurance test**

1 Test conditions			
	Items	Value	Remark
	Cooling type	Liquid/Air/Others	
	Ambient conditions	Temperature (in °C)	
		Humidity (in %)	
	Coolant temperature (in °C)		
	Coolant flow rate (in l/min)		
	Rotation direction	Bidirectional/single directional	
	Maximum speed of motor (in min <sup>-1</sup> )		
2 Results			
	Items	Value	Remark
	Rank	S/A/B/C	
	Number of cycles		
3 Test requirements — Energizing			
	Items	Value	Remark
	Back-EMF	Pass/Fail	
	Origin position and waveform of position sensor	Pass/Fail	
	Torque-speed characteristics at the operating point "a"	Pass/Fail	
	Torque-speed characteristics at the operating point "c"	Pass/Fail	
	Vibration	Pass/Fail	
4 Test requirements — Disassembling			
	Items	Value	Remark
	Bearing	Pass/Fail	
	End ring	Pass/Fail	
	Motor shaft key	Pass/Fail	
	Rotor fixture (magnet, cage, etc.)	Pass/Fail	
	Outer circumference of rotor	Pass/Fail	
	Position sensor	Pass/Fail	

Table A.2 — Maximum torque endurance test

1 Test conditions			
	Items	Value	Remark
	Cooling type	Liquid/Air/Others	
	Ambient conditions	Temperature (in °C)	
		Humidity (in %)	
	Coolant temperature (in °C)		
	Coolant flow rate (in l/min)		
	Maximum torque ( $M_{t=2}$ ) (in Nm)		
2 Results			
	Items	Value	Remark
	Rank	S/A/B/C	
	Number of cycles		
	Motor speed (in $\text{min}^{-1}$ )		
3 Test requirements — Energizing			
	Items	Value	Remark
	Back-EMF	Pass/Fail	
	Origin position and waveform of position sensor	Pass/Fail	
	Torque-speed characteristics at the operating point "a"	Pass/Fail	
	Torque-speed characteristics at the operating point "c"	Pass/Fail	
	Vibration	Pass/Fail	
4 Test requirements — Disassembling			
	Items	Value	Remark
	Motor shaft key	Pass/Fail	
	Rotor magnet fixture (adhesive)	Pass/Fail	
	Shaft tightening part (spline, etc.)	Pass/Fail	
	Stator fixture (thermal insert, bolt)	Pass/Fail	

Table A.3 — Over speed test

1 Test conditions						
	Items		Value		Remark	
	Ambient conditions	Temperature (in °C)				
		Humidity (in %)				
2 Results						
	Items		Value		Remark	
	Rank of over speed		1 <sup>st</sup> letter	2 <sup>nd</sup> letter		
	1 <sup>st</sup> capital letter S/A/B/C/D					
	2 <sup>nd</sup> capital letter A/B/C					
	Number of cycles					
Motor speed (in min <sup>-1</sup> )						
3 Test requirements — Energizing						
	Items		Value		Remark	
	Back-EMF		Pass/Fail			
	Origin position and waveform of position sensor		Pass/Fail			
	Vibration		Pass/Fail			
4 Test requirements — Disassembling						
	Items		Value		Remark	
	Magnet steel case		Pass/Fail			
	End plate		Pass/Fail			
	End ring		Pass/Fail			
	Balance weight		Pass/Fail			

**A.2 Operation endurance test of inverter**

**Table A.4 — Cyclic test**

1 Test conditions			
	Items	Value	Remark
	Cooling type	Liquid/Air/Others	
Ambient conditions	Temperature (in °C)		
	Humidity (in %)		
Current Conditions	$I_{t=2}$ (in A)		
	$I_{t=1800}$ (in A)		
	$-I_{t=1800}$ (in A)		
	Time parameter $t_0$ (in s)		
	Coolant temperature (in °C)		
	Coolant flow rate (in l/min)		
2 Results			
	Items	Value	Remark
	Result of test	Pass/Fail	
3 Test requirements — Disassembling			
	Items	Value	Remark
	Power semiconductor chip	Pass/Fail	
	DC bus capacitor	Pass/Fail	



### A.3 Breakdown strength verification test of motor

**Table A.5 — Spin test**

1 Test conditions				
	Items		Value	Remark
	Cooling type		Liquid/Air/Others	
	Ambient conditions	Temperature (in °C)		
		Humidity (in %)		
2 Results				
	Items		Value	Remark
	Rank		S/A/B/C/D/E/F/G/H/I	
	Maximum speed of rotor (in min <sup>-1</sup> )			