



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE CONTROL Y MEDIDA PARA BANCO DE ENSAYO DE MOTORES DE MOTOCICLETA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Javier Gavilán Mateos
Director: José Hernández Grau
Codirector: Daniel Albaladejo Hernández

Cartagena, 10/10/2018

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Descripción general.	1
1.2. Propósitos.	1
1.3. Fases.	2
1.3.1. Montaje.	2
1.3.2. Puesta a punto.	2
1.3.3. Adaptación de la aplicación.	2
1.3.4. Ensayos.	2
2. LUGAR DE ENSAYO.	3
2.1. Cabinado acústico.	4
2.2. Sistema de ventilación.	4
2.3. Sistema de extracción de gases.	5
2.4. Puente grúa.	5
3. MONTAJE.	6
3.1. Motor.	6
3.1.1. Descripción.	6
3.1.2. Prestaciones.	7
3.2. Servicios.	9
3.3. Bancada.	13
3.4. Equipos de medida.	14
3.4.1. Torquímetro.	15
3.4.2. Caudalímetro.	18
3.4.3. Sonda lambda.	18
3.4.4. Medidor de condiciones ambientales o termohigrómetro.	19
3.5. Monitorización.	19
3.6. Máquina eléctrica.	20
3.7. Armario ABB.	22
3.8. Data logger.	23
4. APLICACIÓN DE CONTROL DE LA MÁQUINA ELÉCTRICA.	25
4.1. Software.	25
4.2. Programación.	26
4.3. Comunicación con el armario ABB.	¡Error! Marcador no definido.

4.4. Implementación	33
4.4.1. Funcionalidades no específicas	34
4.4.2. Funcionalidades específicas	34
4.4.3. Interfaz gráfica	34
5. ENSAYOS Y RESULTADOS.	35
5.1. Protocolo de ensayos	35
5.1.1. Puesta en marcha del banco de ensayos	35
5.1.2. Durante los ensayos	37
5.1.3. Desconexión	37
5.2. Programa de ensayos	38
5.3. Resultados	39
5.4. Corrección de los resultados	40
6. Análisis y conclusiones.	41
7. Mejoras proyectadas.	41
7.1. Tobera para ventilador principal	41
7.2. Ventilador secundario para cárter de aceite y encoder	42
7.3. Control electrónico del acelerador	42
7.4. Control de par con la aplicación	¡Error! Marcador no definido.
7.5. Protección de las cadenas	42
9. BIBLIOGRAFÍA	43

NOMENCLATURA

4T – Cuatro tiempos.

CA – Corriente Alterna.

CC – Corriente Continua.

CEDIT – Centro de Desarrollo e Investigación Tecnológica.

ECU – Engine Control Unit (Unidad de control de motor).

HR – Humedad Relativa.

MCI A – Motor de combustión interna alternativa.

NI – National Instrument.

R_t – Relación de transmisión.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Descripción general.

Este TFG forma parte de una cooperación entre estudiantes, profesores, colaboradores de la UPCT y empresas, dando forma a un proyecto que requiere la utilización uno de los laboratorios pesados situados en el Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica (CEDIT). Por lo tanto, toda actividad se ha desarrollado en las instalaciones de la UPCT ya mencionadas, que se ubican en el Parque Tecnológico de Fuente Álamo. En este caso hemos cooperado con la empresa Italkit, proveedor a nivel nacional de componentes de competición para motocicletas, para realizar pruebas sobre uno de sus kit's que pretenden lanzar al mercado y comprobar su rendimiento a la vez que se ha adecuado a la electrónica de la máquina para mejorar las prestaciones. Estos ensayos han sido de tipo estacionario. Cada alumno ha asumido un cometido concreto asignado dentro del proyecto global, apoyado por un profesor y un colaborador ex-alumno.

La parte que atañe a este TFG en concreto ha sido el montaje de bancada y motor, control de banco, elaboración del programa de ensayos, proporcionar los servicios necesarios durante las pruebas y la obtención de resultados. Se ha necesitado conocimientos de mecánica básica, diseño asistido por ordenador, programación, electrónica y funcionamiento de motores térmicos y eléctricos para poder desarrollar el proyecto.

1.2. Propósitos.

- Adaptar el control de una máquina eléctrica para ensayar nuestro MCIA en modo estacionario.
- Crear una interfaz de usuario de la máquina eléctrica específica para las necesidades de este MCIA y simplificarla para utilización de manos menos cualificadas.
- Integrar todos los servicios necesarios para el MCIA.
- Plantear un programa de ensayos a seguir.
- Documentar el funcionamiento de la aplicación en profundidad y su forma de comunicación.
- Realizar un protocolo para el correcto uso del banco de ensayos.
- Obtención de todos los datos del MCIA.
- Controlar la realización de los ensayos.
- Recopilar datos basados en los ensayos.
- Analizar los resultados y obtener conclusiones.

1.3. Fases.

1.3.1. Montaje.

Ha sido la primera actividad a realizar debido a que únicamente estaba en las instalaciones la máquina eléctrica sobre su propia bancada. El componente principal es el motor de combustión objeto de ensayo y su bancada, aunque también se ha requerido instalar diversos equipos de medida, servicios de banco y disponer el laboratorio para los ensayos. Esta parte ha ocupado gran espacio en el tiempo y diversas modificaciones, pero ha dejado el lugar habilitado para otros ensayos con el mismo motor y pruebas similares.

1.3.2. Puesta a punto.

Tras el montaje ha sido necesario comprobar la integridad de la estructura ante las vibraciones y los esfuerzos a los que iba a estar sometida, así como el ajuste de las partes móviles y revisión de los mecanismos del motor de combustión.

Por otro lado, también ha habido que identificar el cableado de nuestro MCIA con ayuda de un esquema eléctrico para poder evitar los sistemas de seguridad que no permiten arrancar en diversas condiciones que no se cumplen sobre un banco de ensayos.

Después de poner el motor en marcha y comprobar que funciona correctamente, se ha procedido a ejecutar el programa de control de la máquina eléctrica, identificando las partes útiles para nuestros ensayos. Junto con esta comprobación se han hecho las comprobaciones y ajustes relacionados con el medidor de par o torquímetro y su programa de toma de datos.

1.3.3. Adaptación de la aplicación.

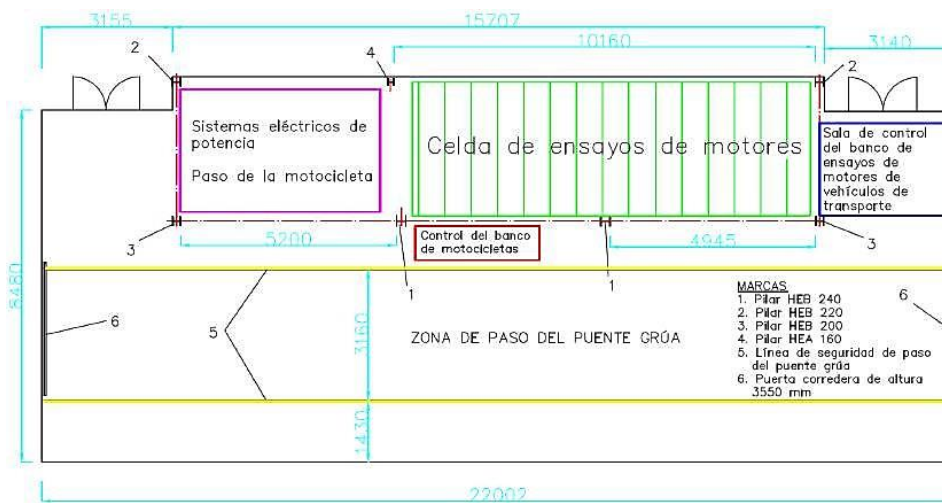
Este punto es uno de los más importantes del trabajo, ya que se fundamenta en el control del banco de pruebas para el ensayo de este MCIA concretamente. Ha consistido en la revisión del código original para extraer y adaptar las partes ya identificadas con anterioridad, dispuestas en una interfaz simplificada.

1.3.4. Ensayos.

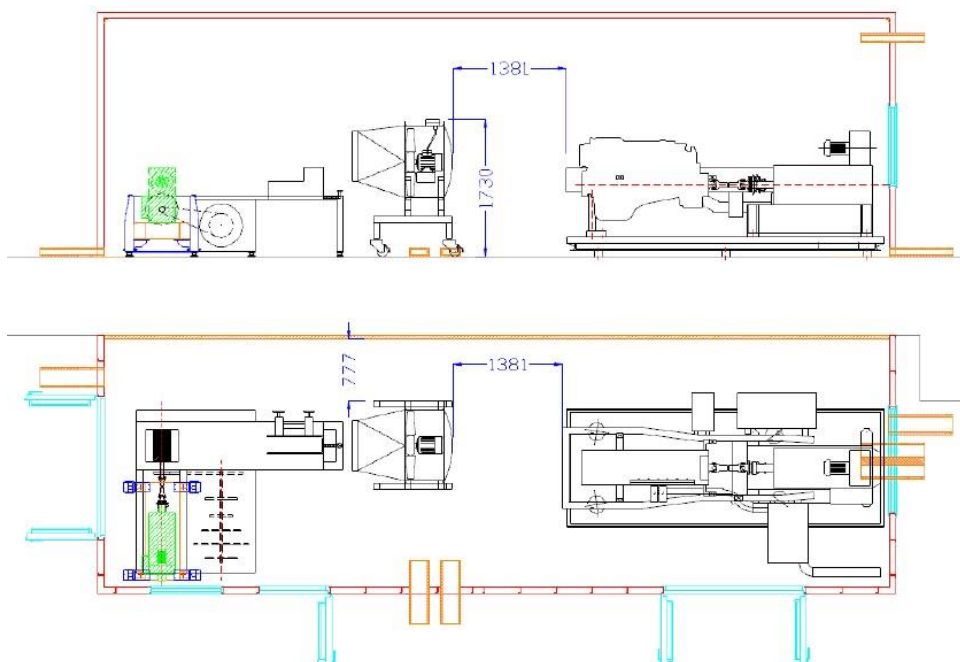
Finalmente, sólo quedaba realizar el programa de ensayos, poner en marcha todos los sistemas presentados y llevarlo a cabo. Con estos primeros estudios se han podido observar las prestaciones del MCIA con la ECU de serie y más tarde con la programable.

2. LUGAR DE ENSAYO.

Todos los estudios se desarrollan en una célula de ensayos situada en los sótanos del CEDIT ubicadas en el parque tecnológico de Fuente Álamo, equipada con todos los servicios necesarios para llevar a cabo este tipo de actividades. Cuenta con sistemas de ventilación, climatización, extracción de gases, insonorización, sistemas contra incendios, etc. En ella ya se han realizado proyectos similares.



Dentro de la celda de ensayos encontramos don zonas diferentes según la calidad del MCIA a ensayar. A la izquierda, el área destinada a los ensayos de motores ligeros (motocicletas), donde ha tenido lugar nuestra actividad, y, a la derecha, la zona dedicada a los motores de gran cilindrada.



2.1. Cabinado acústico.

La celda de ensayos está cubierta por un cabinado acústico, enmarcada en la propia estructura del edificio. Las puertas de acceso y las ventanas también están preparados especialmente para insonorizar la sala.



2.2. Sistema de ventilación.

Para poder mantener la temperatura del aire en el interior de la célula entre 20 y 30°C durante los ensayos de emisiones con motocicletas, se cuenta con un sistema de ventilación que sigue la [Directiva 97/24/CE](#), actualmente derogada por la el [Reglamento \(UE\) nº 168/2013](#). Se compone por los siguientes elementos:

Ventilador de Impulsión.

Distribuido por la empresa Luis Capdevila, S.A., el modelo es el MT 20-20 y se ha instalado para impulsar un caudal de 13600 m³/h.

- potencia/velocidad del motor: 7,5 kW/450 rpm
- dimensiones de la caja (longitud x anchura x altura): 1500 x 1180 x 1080 mm
- sección en la entrada de aire: 605 x 605 mm
- sección en la salida de aire: 1000 x 500 mm
- masa de la caja del ventilador: 198 kg
- masa del motor: 52 kg
- masa total: 250 kg

Ventilador de Aspiración.

A la hora de extraer aire de la sala, el ventilador instalado, modelo 12-12, es capaz de aspirar 6300 m³/h. Comercializado por la misma empresa, por la empresa Luis Capdevila, S.A.

- potencia/velocidad del motor: 1,7 kW/1250 rpm
- dimensiones de la caja (longitud x anchura x altura): 1000 x 680 x 680 mm
- sección en la entrada de aire: 590 x 590 mm
- sección en la salida de aire: 405 x 350 mm
- masa de la caja del ventilador: 72 kg
- masa del motor: 14 kg
- masa total: 86 kg

El caudal de entrada es notablemente superior al de salida, esto se debe a que además de poder regular el ventilador de impulsión hasta el punto de demanda, también se absorbe aire por el sistema de extracción de gases que se desarrolla a continuación.

2.3. Sistema de extracción de gases.

Cuando los MClA están operando, los gases liberados a través de los escapes deben dirigirse directamente fuera del edificio para no formar atmósferas tóxicas. Esto se consigue con un ventilador de extracción y otros equipos auxiliares que los guían por los conductos del sistema de extracción de gases desde donde son liberados hasta el exterior. Junto a cada banco de ensayos hay una toma para la extracción.



Figura 0-1. Plano de alzado del sistema de extracción de gases de escape.

2.4. Puente grúa.

Las vigas que delimitan el lateral de la celda de ensayos están dispuestas para sustentar un puente grúa que permite manejar equipos pesados y aproximarlos a los accesos del lugar de ensayos. En el interior de la habitación también se encuentra un puente grúa, en este caso es una estructura con ruedas que tiene que ser movida a mano y con una mayor limitación de carga.

3. MONTAJE.

3.1. Motor.

3.1.1. Descripción.

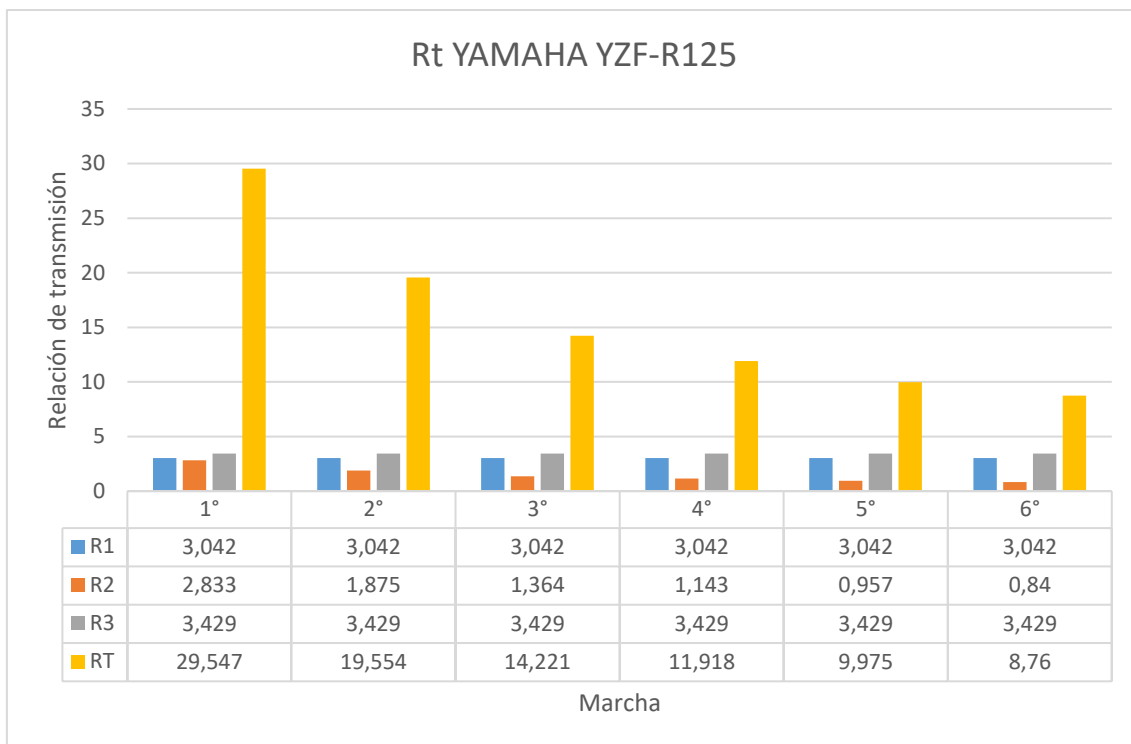
El motor objeto de ensayo es un MCIa financiado por la empresa colaboradora "Italkit", que pertenece a una YAMAHA YZF-R125. Dicho motor tiene una capacidad de 125 cc, se caracteriza por ser monocilíndrico, como la mayoría de motocicletas de poca cilindrada, y utiliza sistema de inyección directa de gasolina de 4T, encendido por chispa y 4 válvulas.

N° de cilindros (Z)	Vol. Desplazado por cilindro [cm ³]	Ciclos termodinámicos por revolución (i)
1	124.7	0.5

Posee una caja de cambios con 6 marchas y una reductora interna a continuación del cigüeñal. Otro cambio de relación de transmisión tiene lugar al intervenir las ruedas dentadas del motor y la rueda trasera, unidas por una cadena. Quedan detalladas en la *tabla 3.1.*, la *R1* hace referencia a la R_t existente entre el cigüeñal y la caja de cambios, *R2* indica la R_t que podemos modificar mediante la caja de cambios, *R3* es la R_t proporcionada por la diferencia de tamaños entre las coronas a la salida del motor y la que gira solidaria a la rueda y, finalmente, *RT* es la relación final consecuencia del cúmulo de las anteriores. Como podemos observar, aunque las 2 últimas marchas más largas son multiplicadoras, la R_t final siempre es reductora, moviéndose en un rango aproximado de 30 a 8. Entendemos por reducción un $R_t > 1$ y multiplicadora si $R_t < 1$.

R1		R2			R3		MARCHA	RT
Cigüeñal - Caja de cambios		MARCHA	Caja de cambios - Eje piñón		Eje piñón - Eje rueda			
73/24	3,042	1°	34/12	2,833	48/14	3,429	1°	29,547
		2°	30/16	1,875			2°	19,554
		3°	30/22	1,364			3°	14,221
		4°	24/21	1,143			4°	11,918
		5°	22/23	0,957			5°	9,975
		6°	21/25	0,84			6°	8,76

Tabla 3.1. Relaciones de transmisión.



Todo este sistema provoca una disminución de potencia a consecuencia de las pérdidas mecánicas en la transmisión del movimiento que se comentará más adelante en el apartado *“Corrección de los resultados”*.

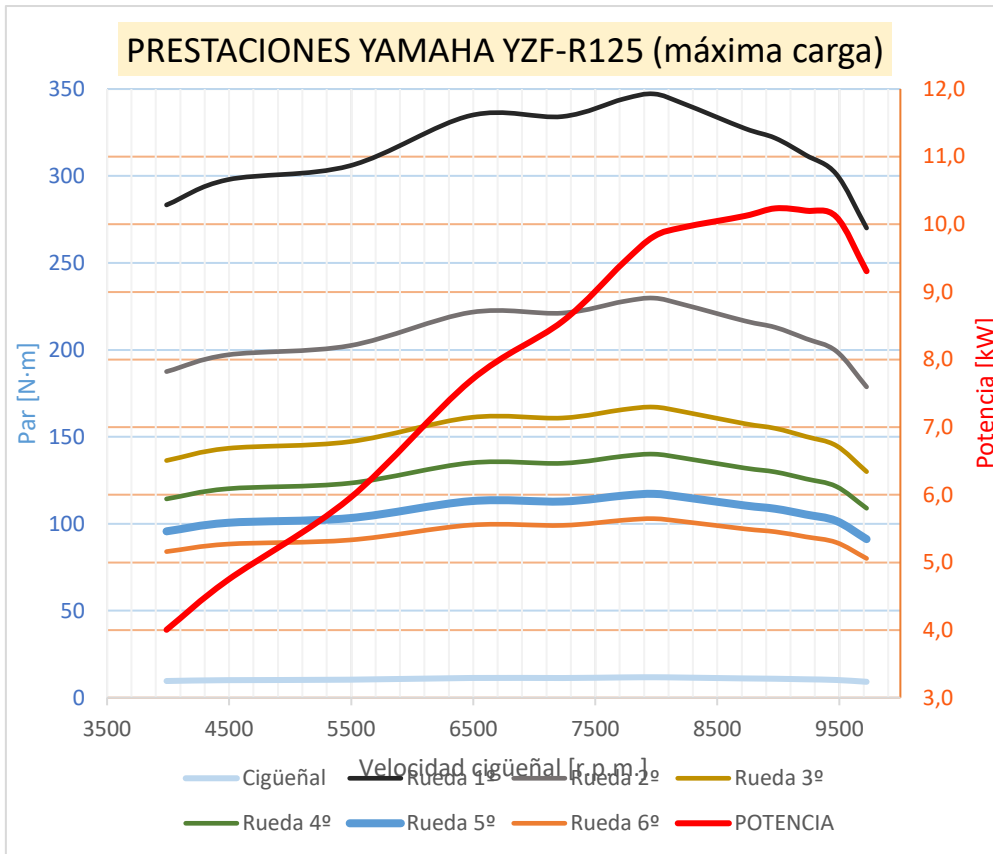
3.1.2. Prestaciones.

Nuestro MCI rinde una potencia según fabricante de 10.81 kW a 8975 r.p.m. y un par máximo de 12.41 N·m a 7980 r.p.m. Encontramos el ralentí en torno a las 1450 r.p.m.

FABRICANTE		
Potencia máxima (8975 r.p.m.)	Par máximo (7980 r.p.m.)	Ralentí (±100 r.p.m.)
10.81 kW	12.41 N·m	1450 r.p.m.

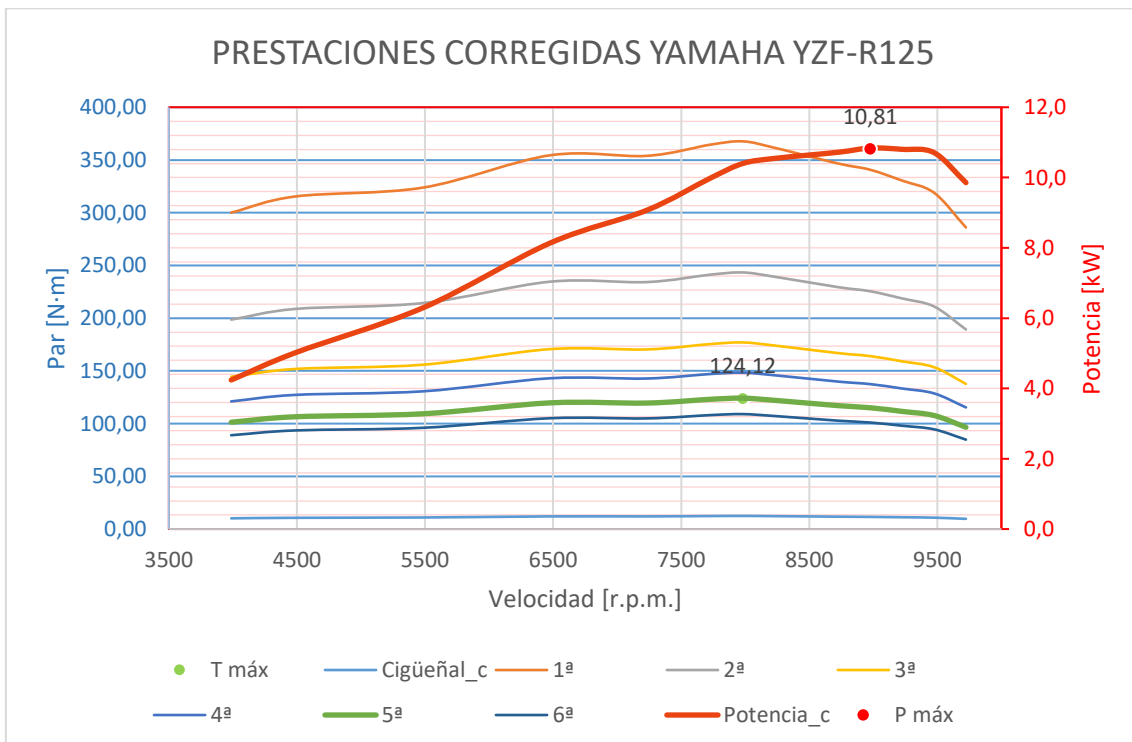
Tabla 3.2. Prestaciones medidas en cigüeñal.

Una extrapolación de los datos del fabricante permite obtener las curvas a plena carga de par y potencia en las distintas marchas.



*Nota: para la extrapolación no hay corrección por rendimiento mecánico.

Si aplicamos el factor de corrección por condiciones atmosféricas de 1.059 conseguimos llegar a las prestaciones indicadas anteriormente.



*Nota: para la extrapolación no hay corrección por rendimiento mecánico.

Nótese que el par máximo queda marcado en esta gráfica sobre la 5° marcha, esto es debido a que los ensayos se van a realizar sobre la misma, se justifica en el apartado “Programa de ensayos”. Esto ha servido como orientación durante las pruebas preliminares.

En nuestro tendremos en cuenta que ha habido pérdidas mecánicas en los elementos que transmiten la potencia desde el motor hasta la máquina eléctrica. Otro punto muy importante a tener en cuenta es el estado del MCIA ensayado en este estudio, es que está deteriorado por el uso y la junta de la culata estaba estropeada hasta el punto de ocasionar pérdidas presión en el cilindro, se desarrollará en el apartado “Análisis y conclusiones”.

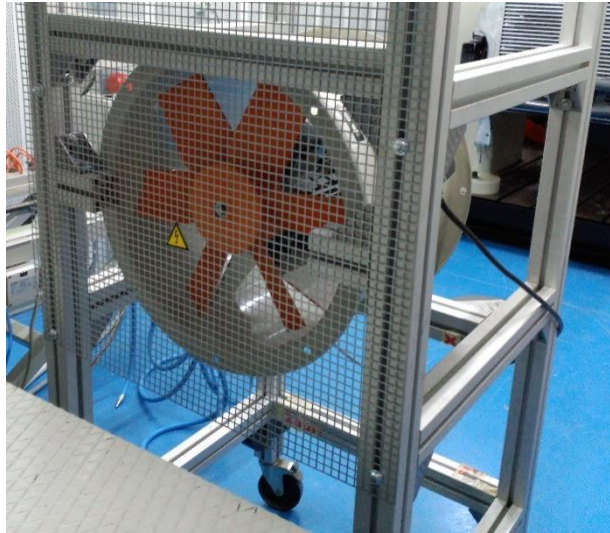
3.2. Servicios.

La infraestructura de ensayos requiere de ciertos servicios para el correcto funcionamiento de todos los sistemas. Además de los de ventilación y extracción de gases, extinción de incendios, aire comprimido, iluminación, etc. que nos ofrece la célula de ensayos, se ha contado con los siguientes:

- BUS de CC.
Existe un BUS de CC para alimentar a 24V cualquier sistema que lo requiera.
- Cargador de batería.
Es imprescindible asegurar que la batería que suministra energía eléctrica al MCIA se mantiene cargada y lista para funcionar, se dispone de un cargador para baterías de 12V para este fin.
- Ventilador auxiliar para el radiador.
Al ensayar el MCIA sobre una bancada estática la disipación de calor del bloque motor disminuye de manera significativa. Aunque la refrigeración es por agua, se necesita de un flujo de aire sobre el radiador para que intercambie calor entre el agua del sistema y el medio. Para ello contamos con un ventilador helicoidal trifásico SODECA que simula el flujo de aire durante la conducción.

MODELO	CONEXIÓN	POTENCIA MECÁNICA	VELOCIDAD	CAUDAL MAX
HCT-45-2T-3	triángulo-estrella	2.2 kW en su opción trifásica	2865 r.p.m	3,54 m ³ /s

Velocidad máx del aire 7.69 m/s (27.7 km/h)



Aunque la velocidad es muy limitada como para simular el flujo de aire durante la circulación, es suficiente para refrigerar el bloque motor.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/s)	3,54
Velocidad (rpm)	2910
Peso aprox. (kg)	34



Rendimiento	40,3%
Grado eficiencia N	44,8
Categoría de medición	A
Categoría eficiencia	Estático
Relación específica	1,00
Caudal (m³/h)	8201
Presión (Pa)	348
Potencia eléctrica (kW)	1,965
Velocidad (rpm)	2930
Variador de velocidad	VSD no necesario
Cumplimiento ErP	2015

♦ Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

Caudal máximo (m³/s)	3,54
Velocidad (rpm)	2910
Peso aprox. (kg)	34



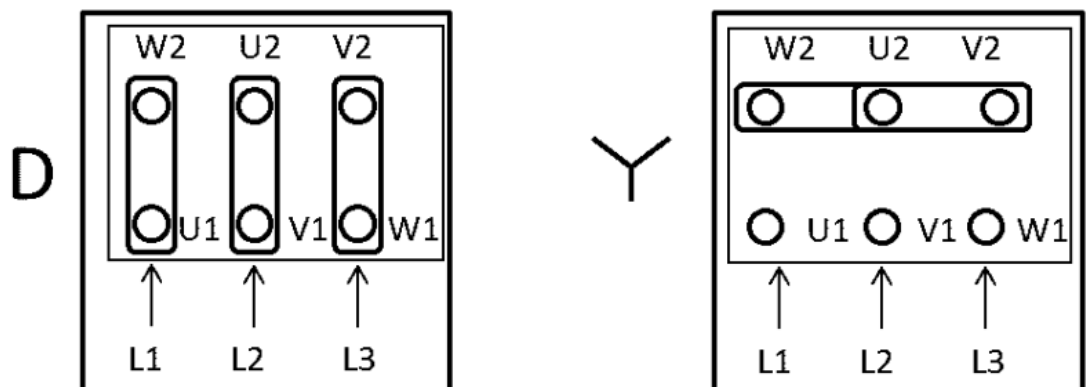
Rendimiento	40,3%
Grado eficiencia N	44,8
Categoría de medición	A
Categoría eficiencia	Estático
Relación específica	1,00
Caudal (m³/h)	8201
Presión (Pa)	348
Potencia eléctrica (kW)	1,965
Velocidad (rpm)	2930
Variador de velocidad	VSD no necesario
Cumplimiento ErP	2015

◆ Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	2,20
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	2910
Polos	2
Corriente máx. (A) 380-415 V Y	4,21
Corriente máx. (A) 220-240 V D	7,32
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	90

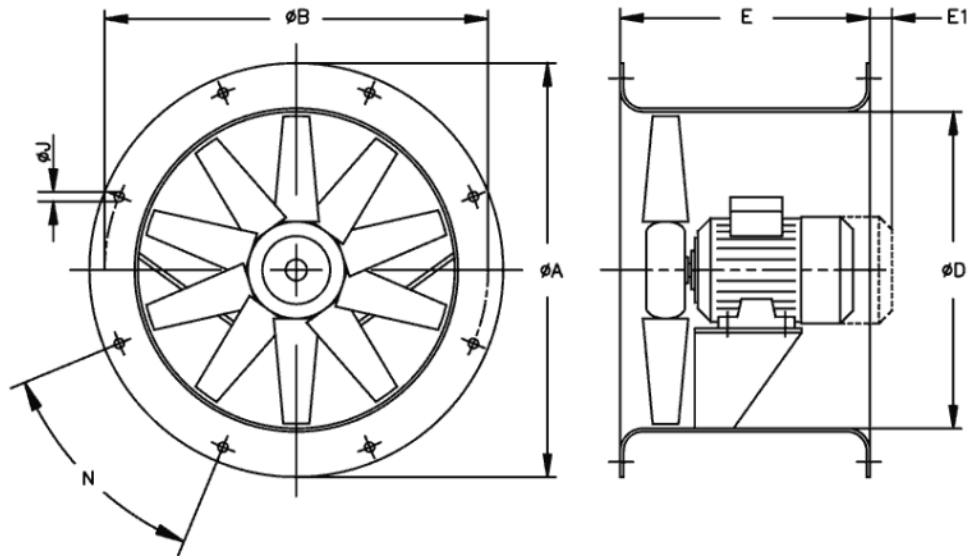
Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor



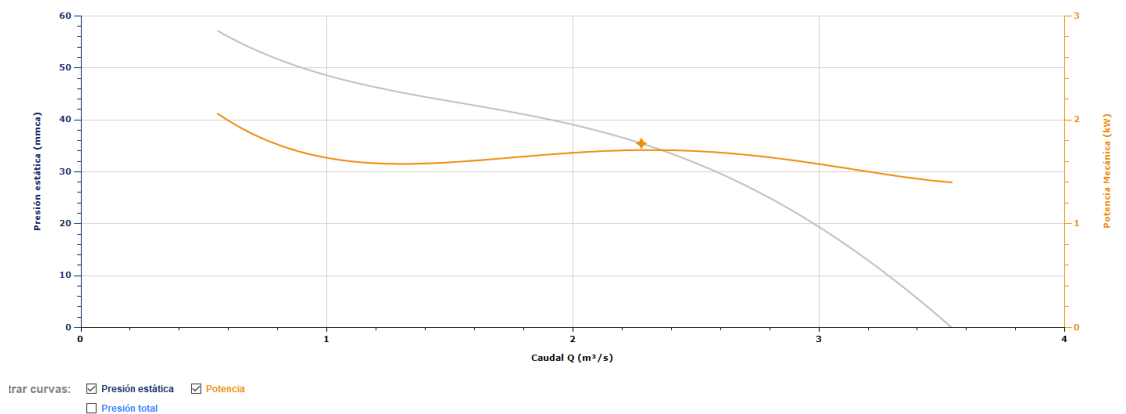
DIMENSIONES

$\varnothing A$	$\varnothing B$	$\varnothing D$	E	$\varnothing J$	N
540	500	460	360	12	8x45°

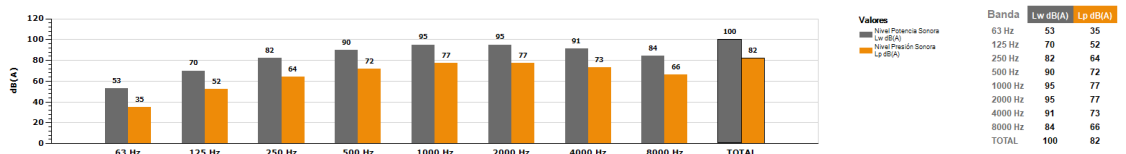
Unidades en mm. \varnothing



CURVA



ACUSTICA



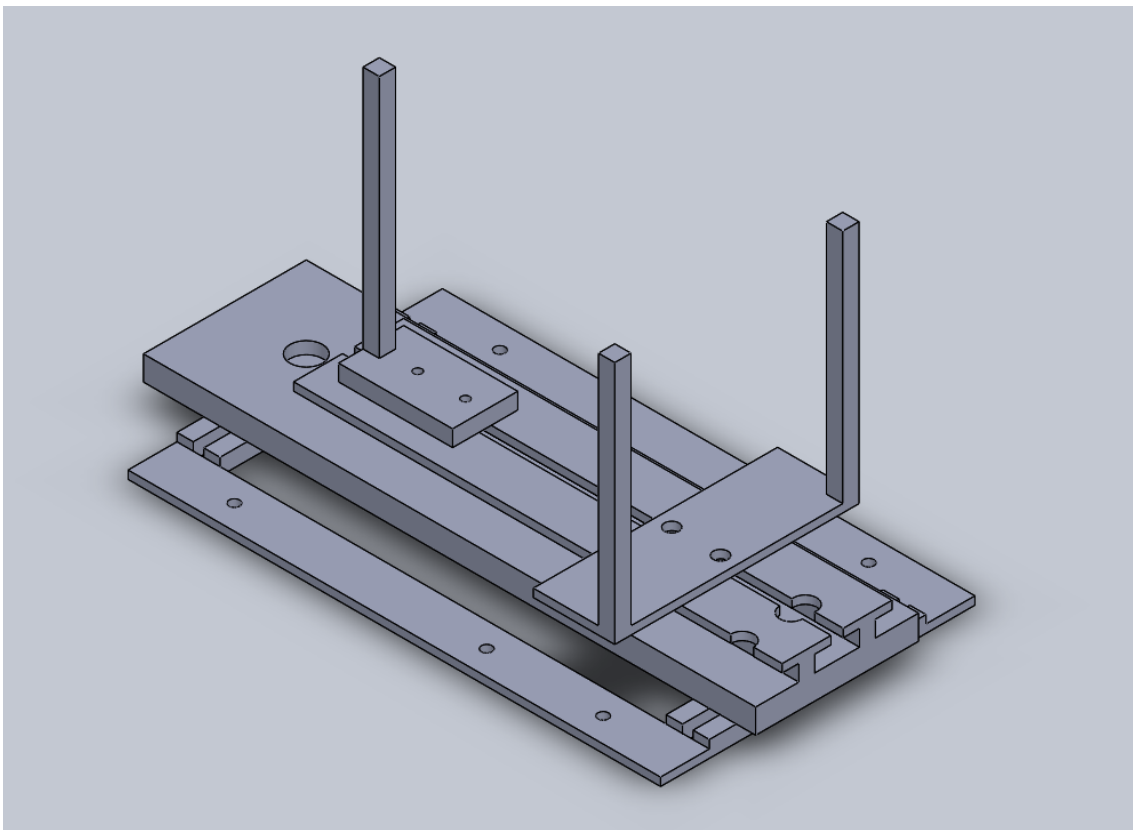
- Control del acelerador.

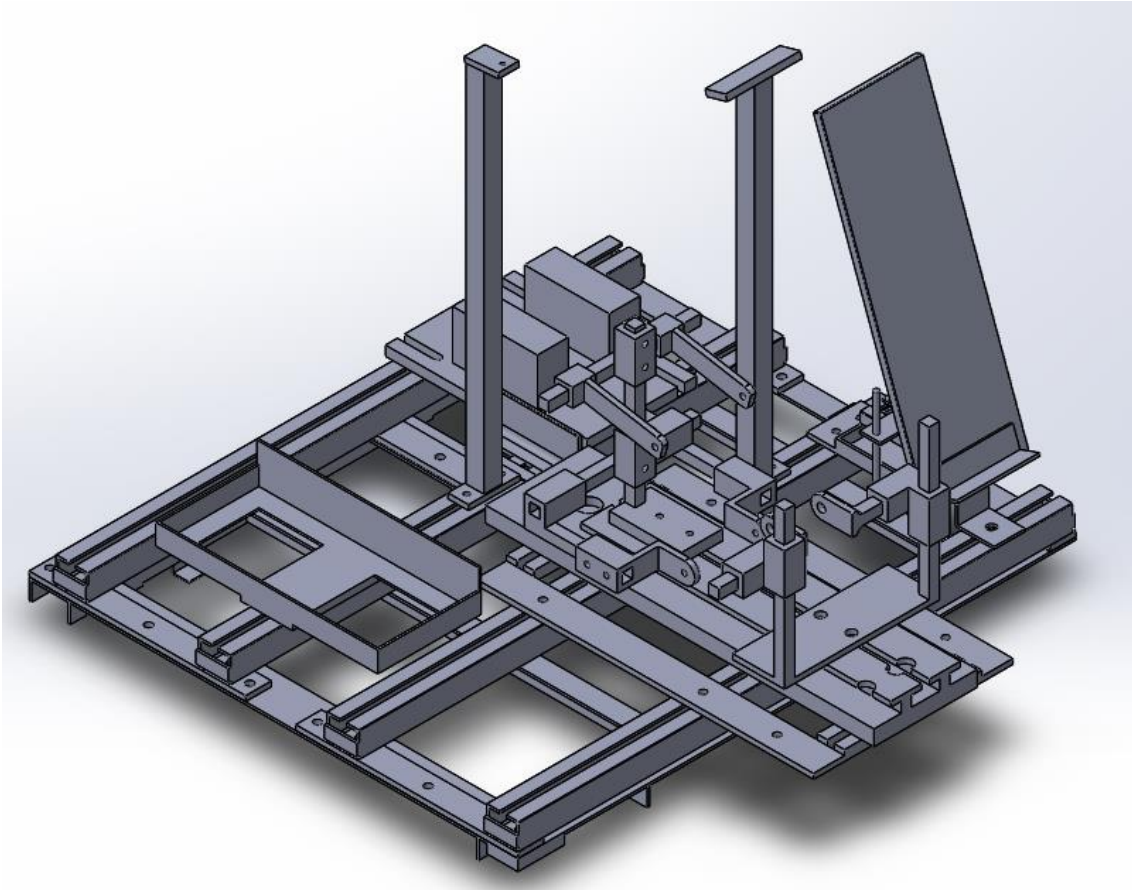
La mariposa del acelerador se maneja de forma remota con ayuda de un motor de CC de 24V conectado a una botonera, que estira o suelta el cable del acelerador a demanda. Los límites del recorrido se marcan con dos finales de carrera mecánicos instalados sobre el radio de giro de la palanca que movida por el motor de CC.

3.3. Bancada.

Para dar soporte físico al motor se ha construido una bancada de acero al carbono pintado, que consta de 2 subestructuras tubulares unidas mediante tornillos de hierro que permiten ciertos movimientos relativos con correderas.

La primera bancada soporta el bloque motor, que a su vez está soportada por la bancada principal. Mediante diferentes sistemas que admiten pequeños desplazamientos se consigue ajustar el motor. La bancada principal se encuentra descansando sobre el suelo y sostiene además del asiento del MCIA, el apoyo del escape, el panel auxiliar, caudalímetro, control del acelerador y otros tantos sistemas que lo han requerido.





Se sitúa junto a otro banco de pruebas con fines similares y a continuación de la máquina eléctrica de la que vamos a obtener medidas. Para poder unir el motor de combustión al motor/generador eléctrico se ha diseñado una transición con cadena que une la rueda dentada que iría a la rueda de la motocicleta, con el plato del motor eléctrico. Se compone de un eje sobre el que giran solidarias la corona de serie y otra que transmite con una segunda cadena (520mx) al plato antes mencionado. Las 2 coronas extra son idénticas a las que monta la YAMAHA YZF-R125 para no variar la R_t y el eje rueda en unos rodamientos FAG 3207-BD-XL-2HRS-TVH en un soporte. El ajuste de la tensión de ambas cadenas se regula moviendo sobre unas correderas la placa sobre la que se han montado los soportes de rodamientos.

3.4. Equipos de medida.

Para poder tomar las distintas lecturas utilizamos diversos sistemas de medición en función al parámetro a medir. Las prestaciones principales, par, potencia y velocidad, se determinan mediante el torquímetro acoplado a la máquina eléctrica. También se requieren mediciones de otros parámetros como consumo, emisiones, tiempos de inyección y temperaturas.

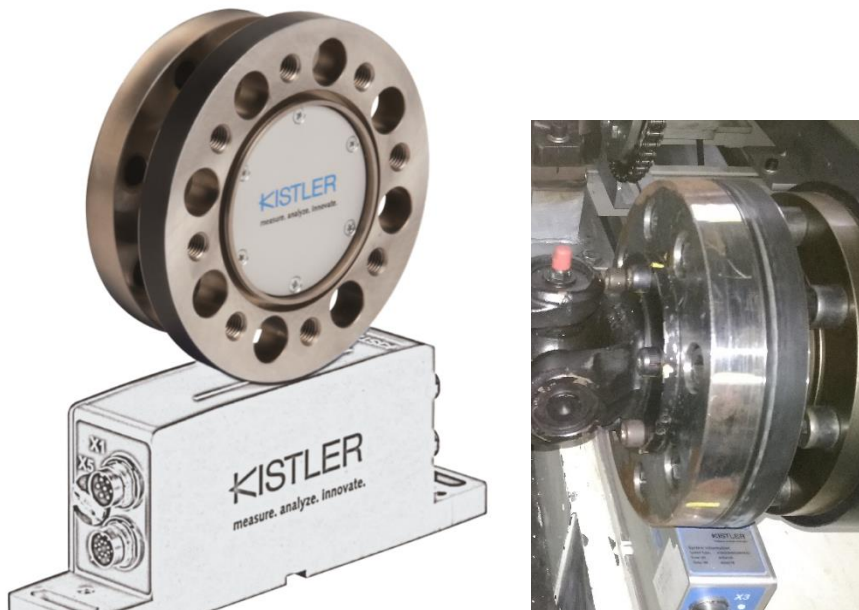
Para poder alimentar todos los equipos contamos con el BUS de CC y un armario ABB que además recibe información de la máquina eléctrica.

Los sistemas de medición se encuentran distribuidos alrededor de la bancada para ser accesibles y están cableados por mangueras hacia el exterior de la célula para poder monitorizar los datos en los ordenadores asignados.

3.4.1. Torquímetro.

Fabricado por la marca **Kistler**, consta principalmente de dos partes, **brida de medición de par KiTorq** y **unidad de evaluación de la brida de medición KiTorq**.

- **Brida:** se encuentra acoplada al eje de la máquina eléctrica y gira solidariamente con él. La radiofrecuencia que emite es recogida por la unidad de evaluación.



- **Unidad de evaluación:** situada junto a la brida para tomar lectura de los datos y comunicarlos. Tiene varios puertos con diferentes tipos de salidas/entradas en función de la utilidad requerida. En nuestro caso se han conectado las salidas X2 y X3. El puerto X2 es una salida que al cablearla con un RS-232 ofrece par, velocidad y potencia, que para poder conectarlo a un ordenador, se ha adecuado con un adaptador RS-232 a USB. El conector X3 sirve para alimentar la unidad (mediante el BUS de CC).

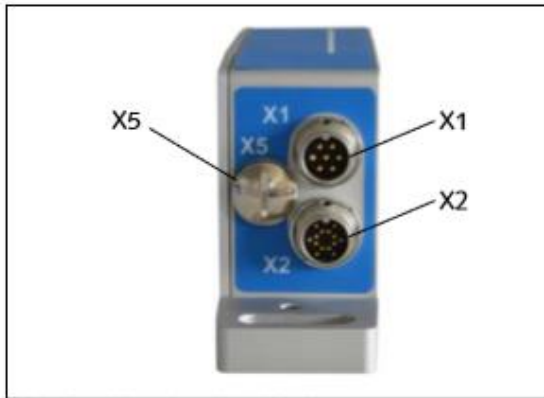


Fig. 6: Side view X1, X2, X5

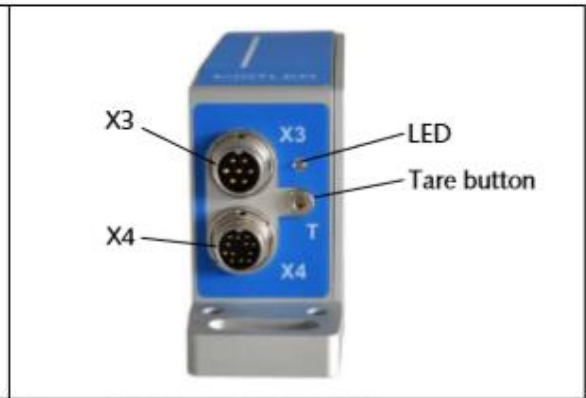
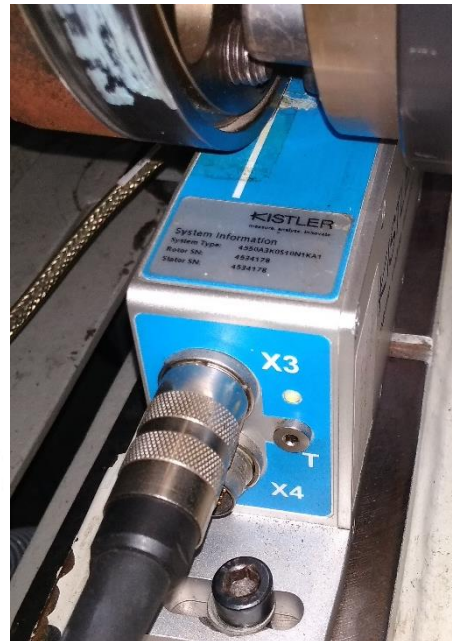
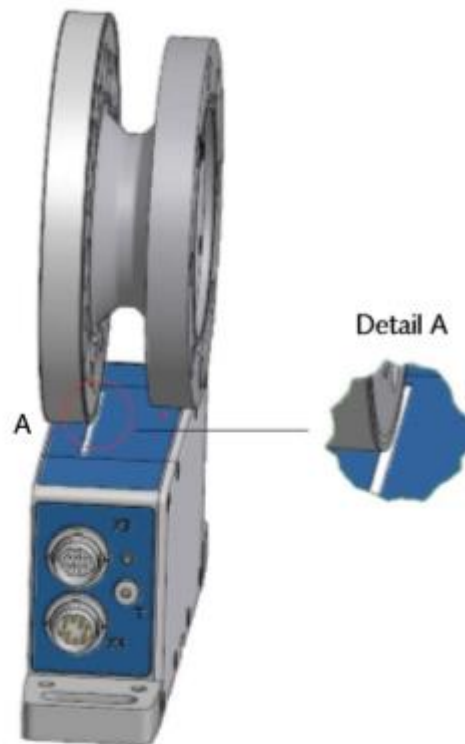
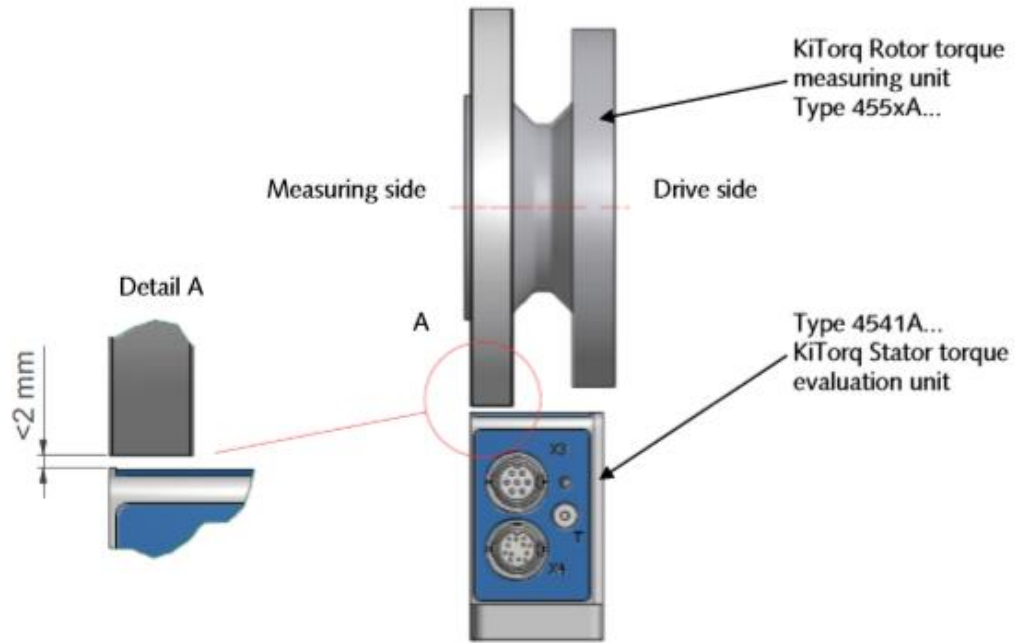


Fig. 7: Side view X3, X4, T, LED



Para que el sistema de medición de par funcione adecuadamente, sus componentes deben estar posicionados a una distancia inferior a 2mm sin llegar a tener contacto.

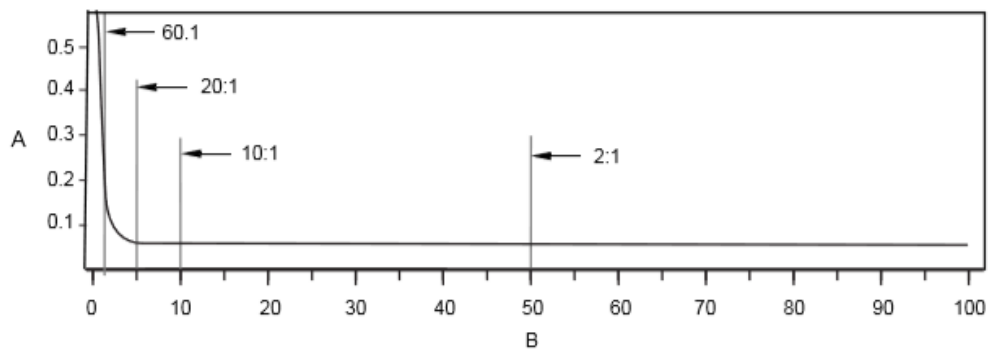


3.4.2. Caudalímetro.

Es el modelo [CMF025M/L](#), con un rango de 0-250 kg/h. Se compone principalmente por sensor más transmisor. El sensor mide el consumo de combustible siguiendo el principio de coriolis, determina el flujo en función del desfase en la vibración de dos tubos por los que circula el fluido; también puede medir la densidad y la temperatura del líquido circulante.

PRECISIÓN DE MEDIDA	
Flujo másico	±0.10% del rango de medida
Densidad	±0.00005 g/cm ³
Temperatura	±1° ó ± 0.5% de la medida

Para este trabajo habría sido mejor disponer un caudalímetro tipo CMF10, aunque el modelo usado apenas tiene pérdidas de carga por su gran diámetro de tubo, si tiene un problema de precisión en la zona más baja de su rango de medida.



- A. Accuracy, %
- B. Flow rate, % of nominal

Sample of accuracy and pressure drop across flow rate

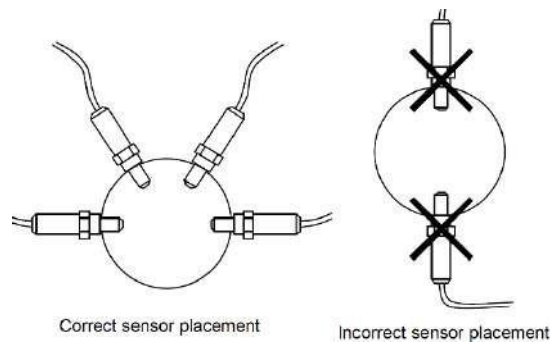
Turndown from nominal flow rate		60:1	20:1	10:1	2:1	1:1
		0.25	0.05	0.05	0.05	0.05
Accuracy	±%	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05
Pressure drop	psig (barg)	0.008 (0.0006)	0.06 (0.004)	0.22 (0.015)	4.11 (0.28)	14.5 (1.0)

La salida de datos 4-20 mA ha sido configurada mediante un HART para establecer el límite superior a 50 kg/h.

3.4.3. Sonda lambda.

Las mediciones de la relación aire/combustible se toman a través de una sonda lambda de la marca MOTEC, colocada lo más cerca posible de la original. Ha de situarse en un ángulo de entre 10 y 90° referidos a la vertical y la punta hacia abajo para evitar condensados entre la

protección del sensor y la pieza cerámica. Siempre debe estar a más de 1m de la válvula de escape para evitar lecturas erróneas por la salida del flujo de oxígeno y protegerlo frente a deflagraciones o problemas mecánicos aguas arriba del escape.



3.4.4. Medidor de condiciones ambientales o termohigrómetro.

En todos los ensayos hay que tener en cuenta las condiciones ambientales para poder corregir los parámetros medidos del motor y extrapolarlos a condiciones estándar. Las condiciones medidas son temperatura, presión y HR. En este caso se ha utilizado un termohigrómetro de la marca OMEGA.

3.5. Monitorización.

Durante los ensayos es de especial importancia la monitorización de los parámetros principales para conocer en todo momento la situación y poder detectar cualquier anomalía rápidamente. Por ello, la pantalla de control sirve de ayuda para la realización de los ensayos. Se prevé indispensable para otro tipo de pruebas en las que se deban de seguir ciclos indicados por gráficas en tiempo real y sea necesario mantener el control del acelerador dentro de la célula.

Sin embargo, surge un problema cuando se pone en marcha la máquina eléctrica, posiblemente debido al paso de la corriente por los cables de suministro eléctrico. La imagen se distorsiona o llega a desaparecer haciendo imposible cualquier tipo de monitorización.



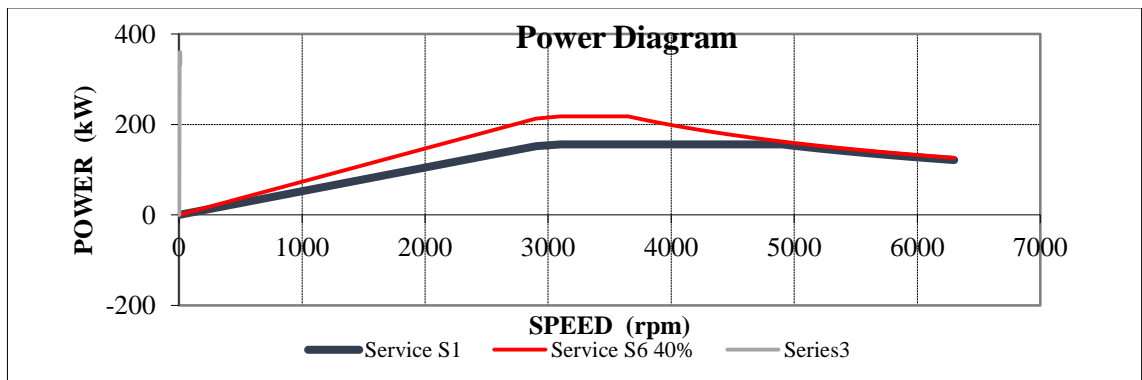
3.6. Máquina eléctrica.

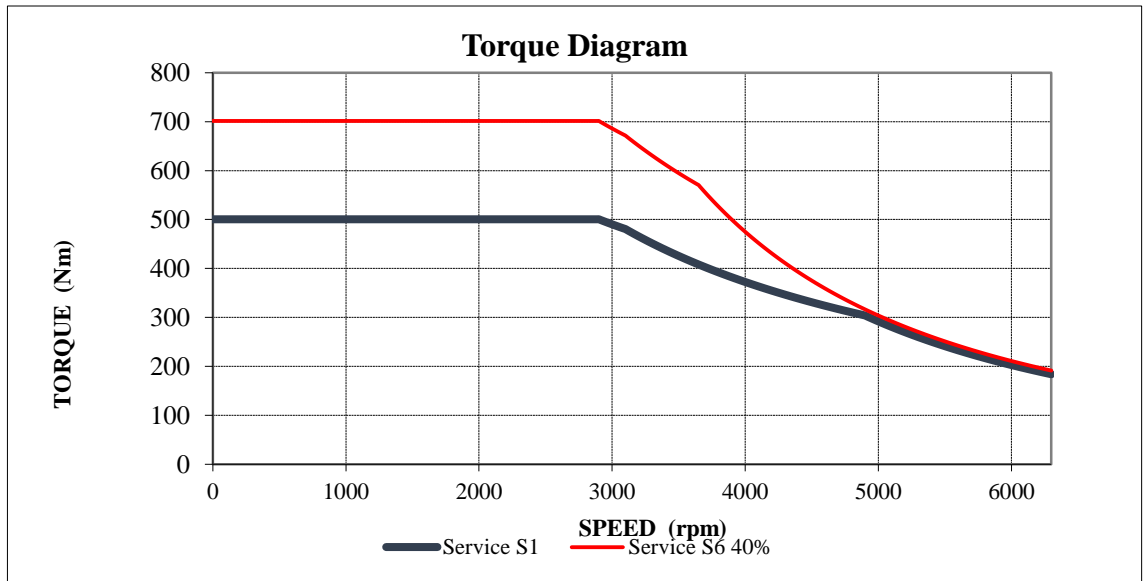
Este es el elemento indispensable para realizar los ensayos, utilizado para fijar puntos de funcionamiento a los que realizar las pruebas del MCIA. Encargado de recibir el par y la potencia ofrecidos por el motor de ensayo para poder cuantificarlos. Normalmente actúa como freno generando electricidad con la energía recibida, pero también puede servir de motor consumiendo energía eléctrica de la red; así permite medir las fuerzas resistentes que se ejercen para arrastrar el MCIA y calcular pérdidas mecánicas. Permite trabajar con rotaciones en sentido horario como antihorario.



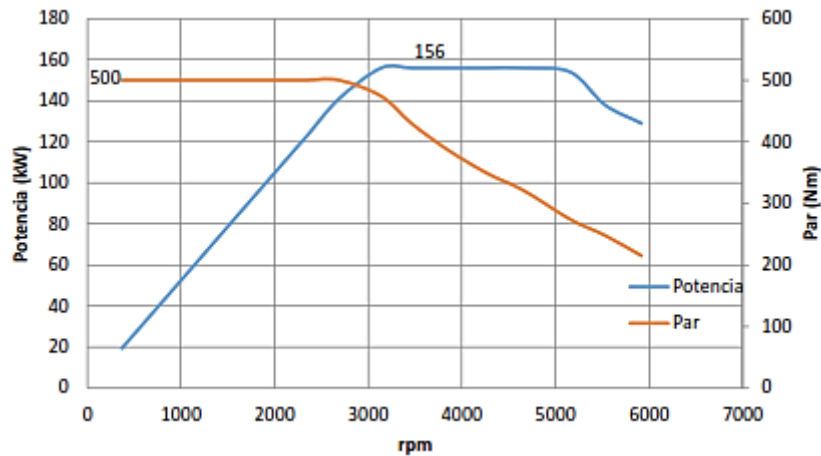
.Freno eléctrico asíncrono ABB 160-152 kW-400V TVC160L5. Izquierda: visión de conjunto. Derecha: detalle del ventilador auxiliar.

Es importante tener en cuenta el rango de prestaciones a medir para saber si la máquina eléctrica es apropiada para el ensayo al que se destina, a continuación se detallan sus características:





Marca y modelo	Maquina eléctrica ABB 160 – 152 kW – 400 V TVC160L.5
Tensión	400 V
Potencia nominal	152 kW
Par nominal	500 N·m
Corriente nominal	300 A
Rendimiento S1	97,5 %
Velocidad nominal	2.900 rpm
Frecuencia nominal	97,5 Hz
Momento de inercia	0,40 kgm ²
Cos φ	0,824
Protección	IP 23
Velocidad máxima a potencia constante	4.650 rpm
Velocidad máxima mecánica	6.000 rpm
Servicio	S1
Sobrecarga de par	2,5
Encoder	HTL 1024 incorporado
Refrigeración	Ventilación forzada RadialUP
Protecciones térmicas	Devanados: 3 PTC en serie
Temperatura operativa	5..40 °C
Peso	310 kg



3.7. Armario ABB.

Este armario de potencia se utiliza principalmente para controlar las dos máquinas eléctricas de la celda de ensayos, nunca de manera simultánea. Hace de intermediario entre la red eléctrica y todos los elementos que se encuentran en el interior de la celda, ya sea como suministro eléctrico o como controlador. Por ende, si la máquina eléctrica en funcionamiento se encuentra actuando como freno, el armario abastecerá la red eléctrica.

Probablemente, al igual que la pantalla de control sufre distorsiones con el funcionamiento de la máquina eléctrica, la actividad del armario provoque interferencias con otros equipos.



El armario cuenta con los siguientes sistemas de alimentación y seguridad:

- Contactor de línea con parada de emergencia en frontal del cuadro.
- Seccionadores del tipo manual y fusibles ultra-rápidos en el conexionado a motor y red del inverter.
- Frenado regenerativo.
- Filtro RFI.

- Inverter DTC (Direct Torque Control).
- Interfaz con encoder.
- Comando de la alimentación del ventilador auxiliar de refrigeración motor.
- Refrigeración del armario por ventilación forzada y filtros en entrada de aire.
- Panel de control.
- Interfaz con el sistema de gestión del banco de pruebas.

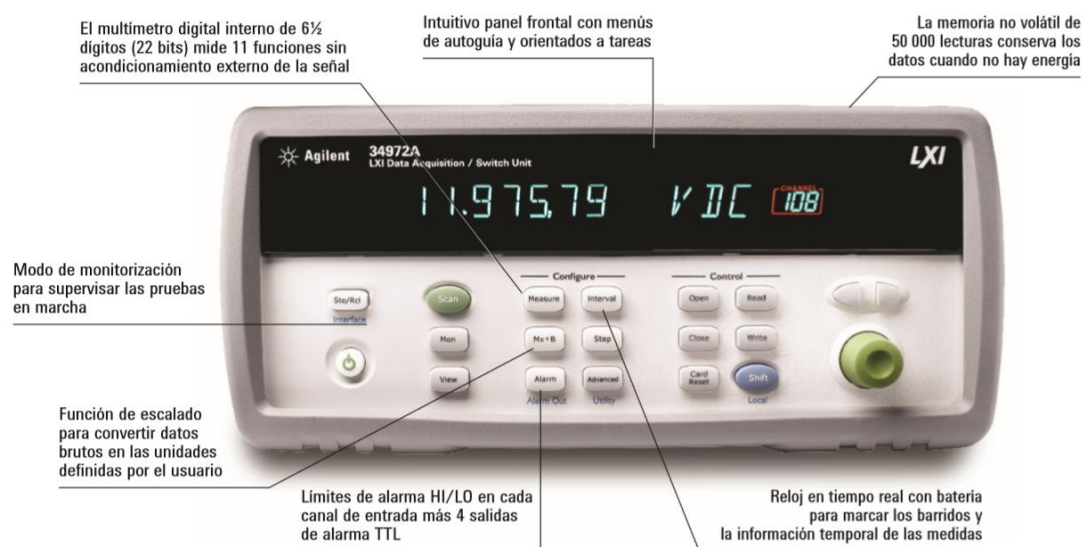
Todo el sistema del cuadro cuenta con elementos modulares con grado de protección IP21 y refrigerado por medio de ventiladores. Accesible a los elementos internos para el conexionado de las mangueras de cable hasta el motor y a la red. Mediante el panel de control se puede navegar en los diferentes menús para configurar cualquier parámetro y muestra

El inverter para el accionamiento del motor/generador es de tipo DTC (Direct Torque Control), potencia 350 kW e intensidad 675 A. Posee un cuadro de conmutación compuesto por dos contactores SIEMENS 3TK56 650 A, para accionar la máquina eléctrica requerida. Sobre su frontal además podemos encontrar la seta de emergencia para el inverter.

3.8. Data logger.

Para recibir y procesar la información que llega de los diferentes equipos de medida se ha contado con un data logger, el “Agilent 34972A”. Este equipo de adquisición de datos y automatización de los ensayos cuenta con entradas configurables de manera independiente, pudiendo recibir en CC, CA, frecuencia, periodo, tensión, corriente, resistencia y temperatura desde termopares, RTD y termistores.

Permite conexión directa al ordenador a través de un puerto USB sin necesidad de adaptadores, aunque también es posible almacenar la información en la memoria del propio data logger y posteriormente acceder a ella, o directamente guardar la información en una unidad de almacenamiento externa.



34972A



USB

- Hasta 96 puntos de cruce de matriz o 120 canales single-ended
- Ocho módulos conectables de conmutación y de control a elegir
- Agilent BenchLink Data Logger 3, drivers IVI-CC, IVI-COM y drivers para Agilent VEE y NI LabView incluidos

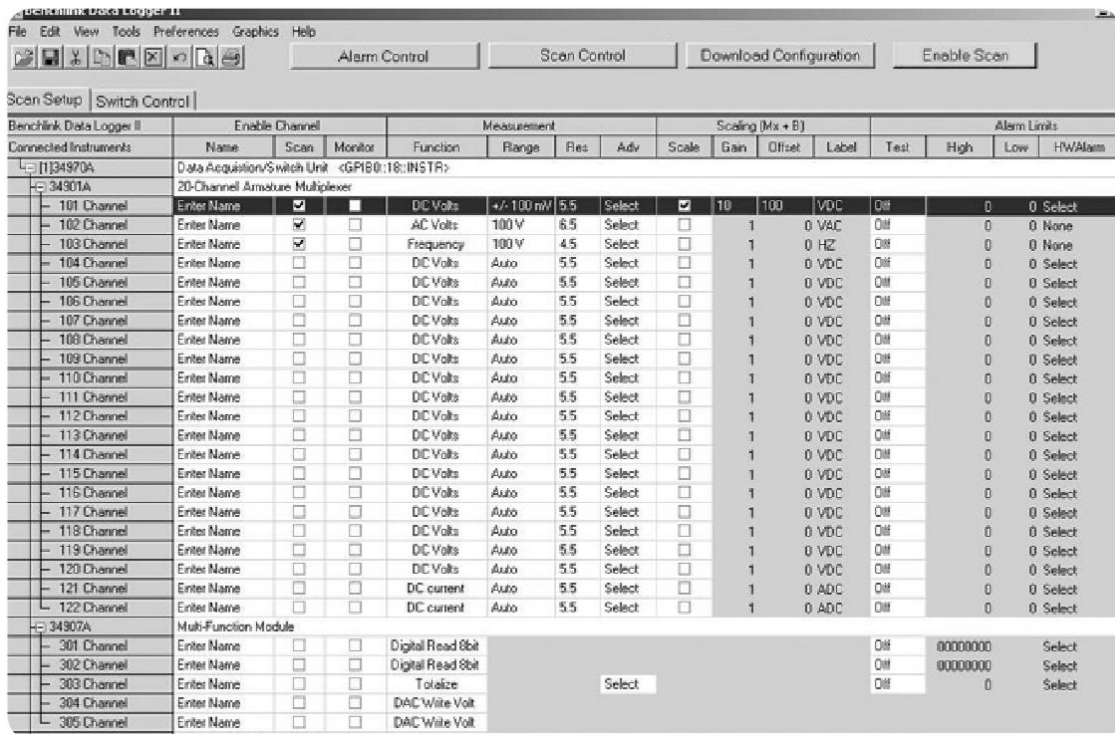
Puerto de memoria USB para registrar/transferir datos a una unidad USB Flash

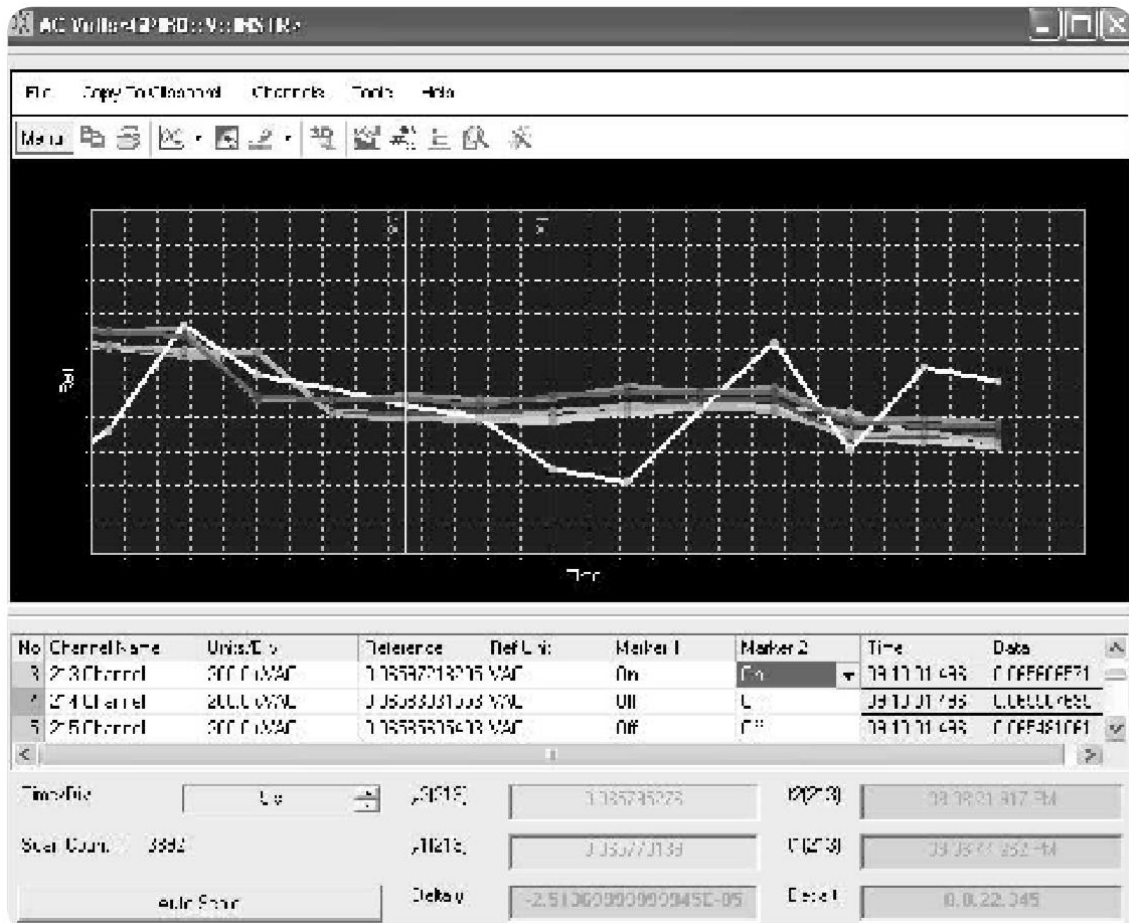
Puertos LAN y USB incorporados para conexión inmediata a un PC

34970A



El software *Agilent BenchLink Data Logger 3* posibilita recopilar y analizar en el ordenador en tiempo real, en un entorno de hojas de cálculo y gráficos.





Cuenta con espacio para hasta 3 módulos o tarjetas para realizar las conexiones, en nuestro caso sólo se han utilizado 2 módulos de uso general, el multiplexor 34901A. Son tarjetas básicas de 20+2 canales con capacidad para barrer 60 canales cada segundo, solamente acondicionan la entrada de datos y no permiten salida.

4. APLICACIÓN DE CONTROL DE LA MÁQUINA ELÉCTRICA.

4.1. Software.

Para mantener la comunicación con el armario y la máquina eléctrica se ha elegido un software propiedad de "National Instrument" que nos introduce en un entorno de programación gráfica muy útil para estos fines, "LabView". Mediante instrumentos virtuales se consigue una interfaz de usuario sencilla e intuitiva que podemos asemejar en gran medida a un panel de control convencional, sin embargo, existe la posibilidad de modificarlos a voluntad.

Esta plataforma está indicada para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real. Es fácilmente editable en código tanto como en interfaz de usuario, por lo que permite fluidez a la hora de probar nuevas utilidades. Es compatible con gran variedad

de sistemas de adquisición de datos, controladores y sistemas de medida, lo que lo hace una herramienta muy versátil en el campo de la ingeniería.

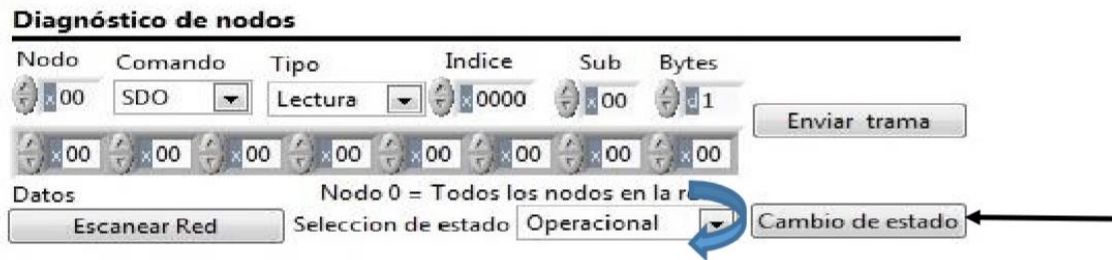
4.2. Programación.

El punto de partida es un programa ideado para el controlar ambas máquinas eléctricas con diferentes modalidades de ensayos. Encontramos diferentes pestañas para navegar según la actividad a realizar. A través de un sistema CANopen se gobierna el sistema mientras se monitoriza en tiempo real.

***Nota:** los pasos previos a la ejecución del programa se describen el apartado *“puesta en marcha del banco de ensayos”*.

- En primer lugar debemos ejecutar el programa y abrir las comunicaciones en la pestaña *“diagnóstico CANopen”*.

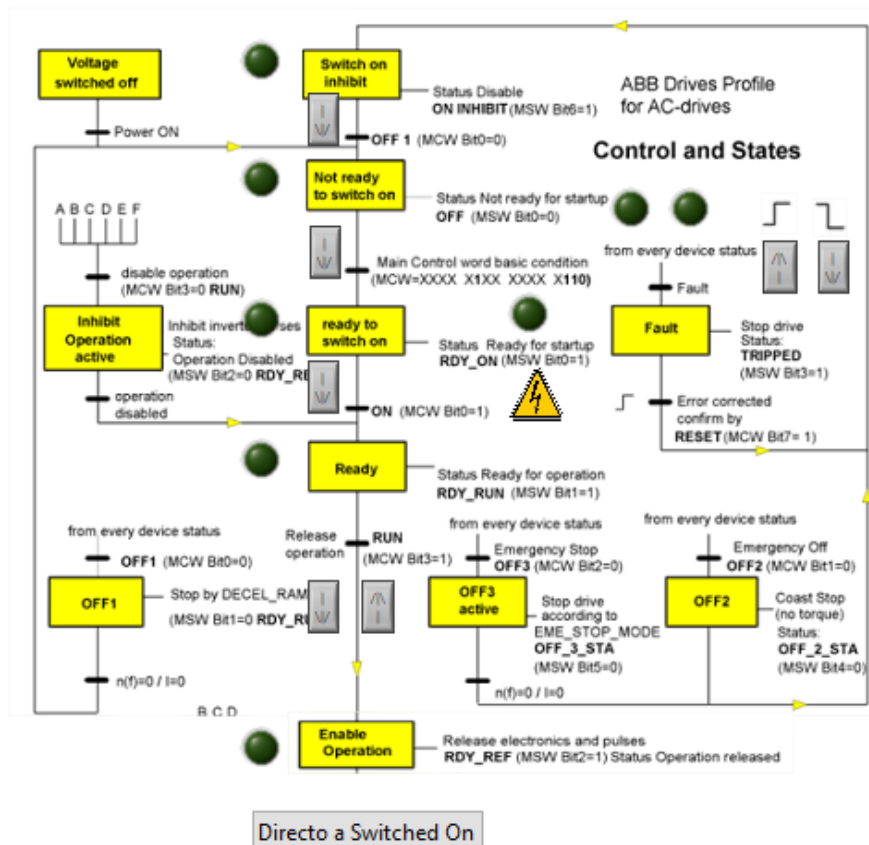
- El siguiente paso es cambiar la selección de estado a “operacional” dentro de la misma pestaña para tener control sobre el inversor.



- Volveremos a la pantalla principal para activar la opción “consultar estados”.



- Dentro de la pestaña “control-transparent” hay que seguir la secuencia de botones hasta “ready”, teniendo la precaución de que al situarnos sobre “ready to switched on” el motor se energiza. Es posible pulsar el botón “directo a switched on”, aunque no es recomendable saltar los pasos intermedios.



- Ahora ya se puede practicar un control por velocidad de la máquina eléctrica introduciendo la consigna de velocidad y enviándola.

Envío de consigna permitido en estados Switched on y Operation enabled

Selector a modo RPM VI velocity demand (rpmX0.1) 2 0

Consigna velocidad (rpm) 0 Enviar

- También existe una opción para enviar consignas de par, pero aún no se ha terminado de implementar para que funcione correctamente,

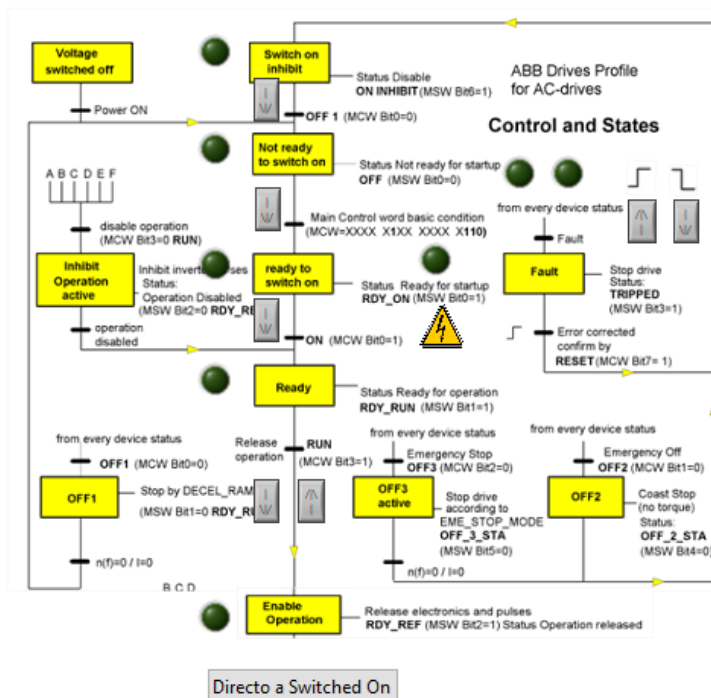
Selector a modo PAR

Consigna PAR (centesimas par nominal) 0 Enviar

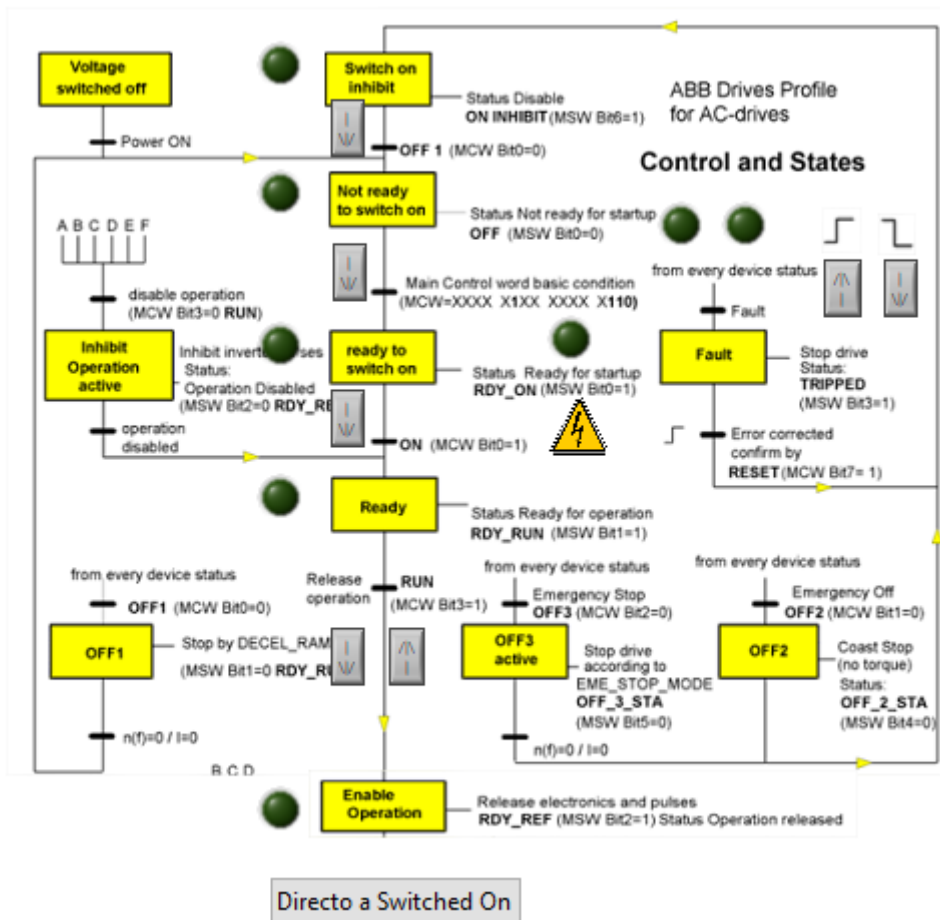
Consigna PAR (N-m) 0 Enviar

Consigna PAR Ciclo (centesimas par nominal) (TEMP PAR 2) 0 Enviar

- Para realizar una parada y desbloquear el eje de la máquina eléctrica será necesario llevar el control a "ready".



- En caso de requerir una parada de emergencia se llevará el control directamente a "fault". Esto hace saltar un aviso de parada de emergencia en el armario, que desconecta el sistema y no permite reiniciarlo hasta pulsar el botón indicado.



- En el caso de necesitar enviar o leer una trama concreta se hará en el siguiente menú.

Diagnóstico de nodos

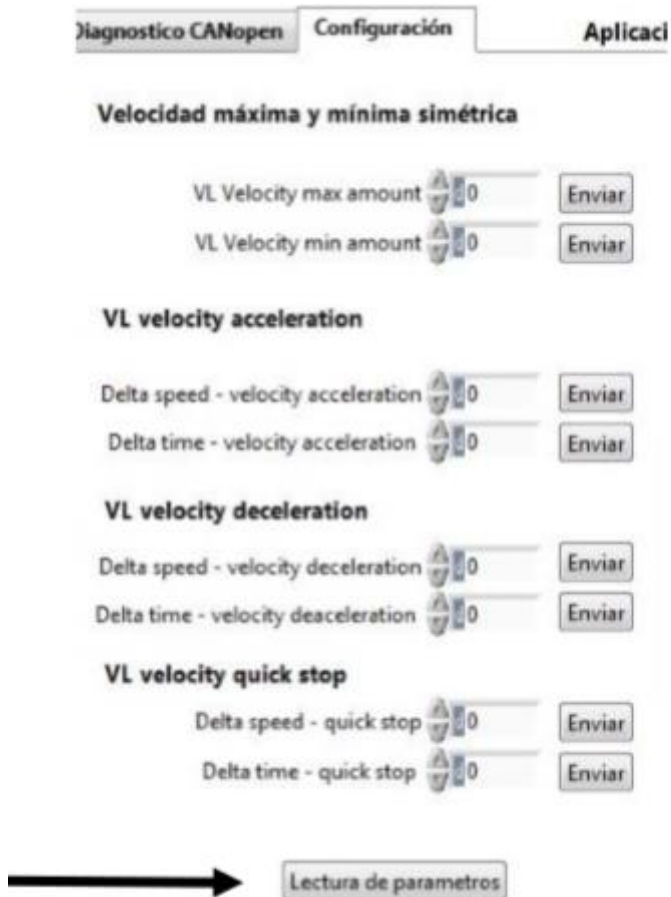
Nodo	Comando	Tipo	Indice	Sub	Bytes
00	SDO	Lectura	0000	00	1

Datos: ←

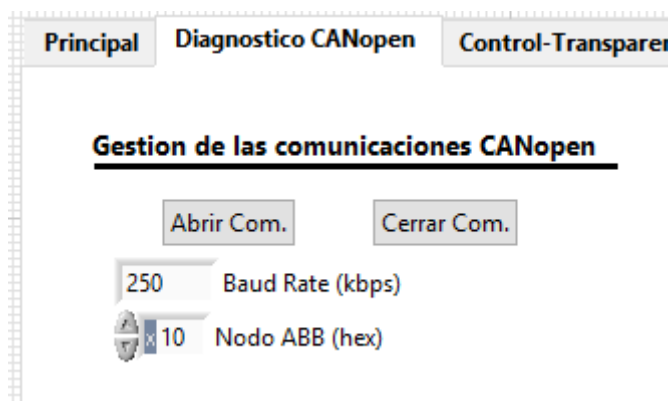
Nodo 0 = Todos los nodos en la red

Selección de estado:

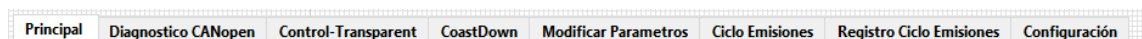
- Es posible ver la velocidad máxima y las aceleraciones determinadas en cada momento en la pestaña de configuración.



- Para cerrar el programa es recomendable llevar el control al estado de "ready" primeramente y después al de "fault" como se ha indicado anteriormente y cerrar las comunicaciones.



- Si se requiere un control más complejo de la máquina eléctrica podemos recurrir a las demás pestañas.



- CoastDown.

Curva de Par Resistente $Par=A+B*v^2$

Calculo Peso Motocicleta Inercia Requerida

A B

Condiciones atmosféricas.
Constantes provisional hasta instalar CRIO.

P (hPa) T^a (°C) HR (%)

Permite introducir la inercia equivalente al conjunto motocicleta-conductor, supone un peso medio de 75kg para el piloto. Indica la masa a usar en los discos de inercia y los parámetros A y B que ajustan la curva de par resistente durante un ciclo en función de la velocidad. También requiere introducir los valores de presión, temperatura y humedad relativa para dejarlos registrados hasta que se implemente una funcionalidad que permita obtenerlos a través de un sistema de adquisición de datos.

- Modificar parámetros.

Restablecer limites 0%

Limite Superior de PAR (Centesimas del nominal)

Limite Inferior de PAR (Centesimas del nominal)

Curva de Par Resistente $Par=A+B*v^2$

Activar Modo Ciclo

Parametro a Parametro b

vel 2 demand

zona bajas

Velocidad km/h

Par Nm

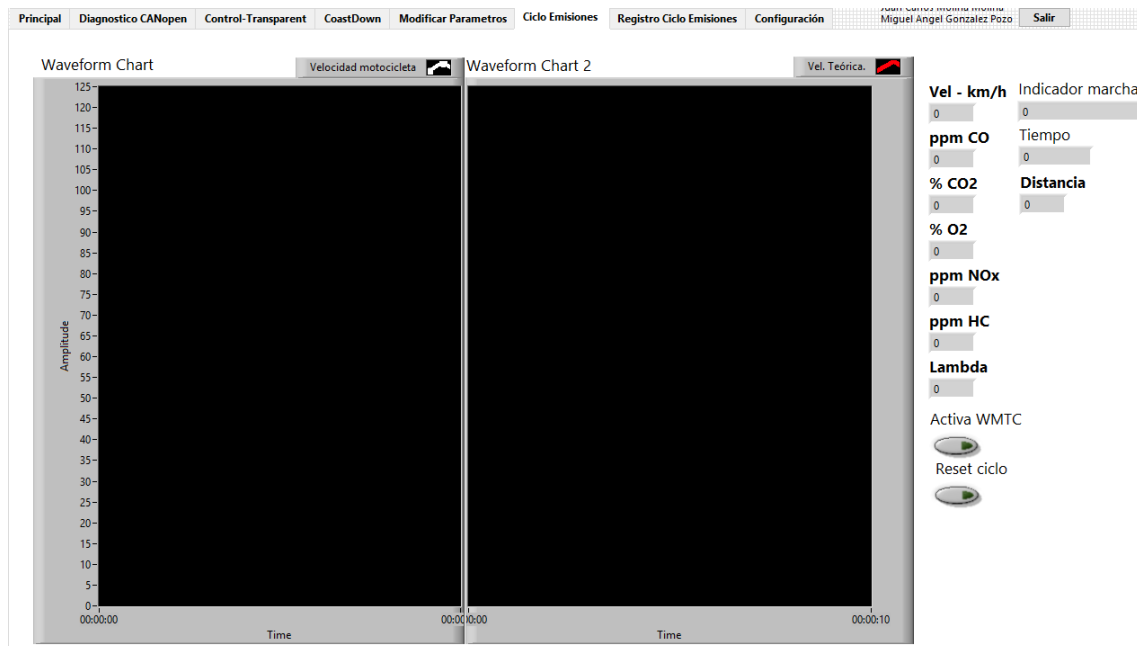
Permite designar los límites superior e inferior de par para la máquina eléctrica, si se sobrepasan, ésta será arrastrada por el MCIA y dejará de actuar como freno.

Si lo que queremos es simular un ciclo, activando este modo (anula el control por velocidad) comienza el control sobre la curva que caracterizan los parámetros A y B. En las gráficas se monitorizan los la velocidad en km/h del rodillo* y el par proporcionado.

* El rodillo se utiliza en otros ensayos que no ocupan este trabajo.

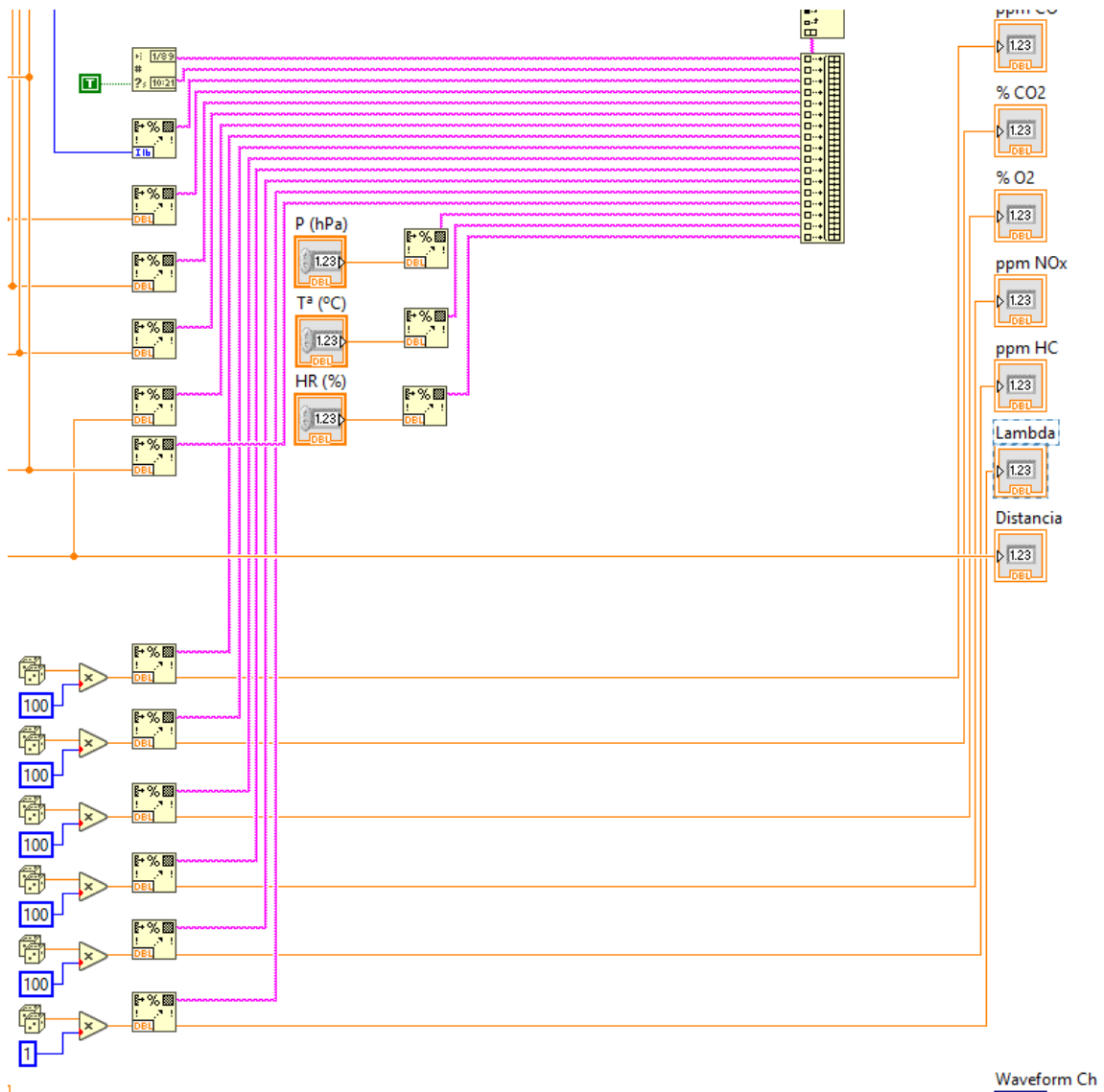
Nota: por debajo de 36km/h la máquina eléctrica ofrece un par resistente desproporcionado y no permite el movimiento del rodillo.

- Ciclo Emisiones.



Permite seguir manualmente un ciclo que se controla con el acelerador de la moto. Consta de dos gráficas, a la derecha se muestra cómo debe transcurrir el ciclo y a la izquierda la manera en la que está desarrollándose. Para que se pueda seguir, se marcan unos límites superior e inferior que indican el margen de error máximo, se muestra el ciclo a seguir con 5s de adelanto y el realizado hasta los 5s anteriores.

Los datos que aparecen a la derecha están dispuestos para conectar a un sistema de adquisición de datos, pero no son funcionales puesto que el código no está programado para conectar con dicho sistema, si no que genera números aleatorios para una simple visualización por pantalla como comprobación.



- Registro Ciclo Emisiones.

Muestra sobre una tabla todos los parámetros medidos durante los ensayos y se pueden exportar de manera manual a una tabla Excel cuando finaliza el programa.

4.3. Implementación.

Como partimos de un código ya ideado para uso en banco de ensayos, el estudio se ha basado en la adaptación específica del mismo para nuestro motor a ensayar. Se ha usado del código base con pequeños puentes hacia una nueva interfaz propia para la YAMAHA YFZ-R125. Dentro del entorno del programa raíz se ha añadido una nueva pestaña con todas las funcionalidades, específicas y no específicas, necesarias para los ensayos que ocupan este estudio.

4.3.1. Funcionalidades no específicas.

El ensayo de este MCIa tiene muchas características comunes al resto de pruebas de otros motores, por lo que se han incorporado gran cantidad de funciones que ya existían en la interfaz base. Éstas son:

- Protocolo de comunicación con el armario y la máquina eléctrica.
- Secuencia de arranque y detección de fallos.
- Control de velocidad de la máquina eléctrica.
- Medición de velocidad de la máquina eléctrica.

Esto se ha conseguido duplicando las entradas o salidas de las variables locales correspondientes para poder controlarlas o leerlas desde la nueva pestaña.

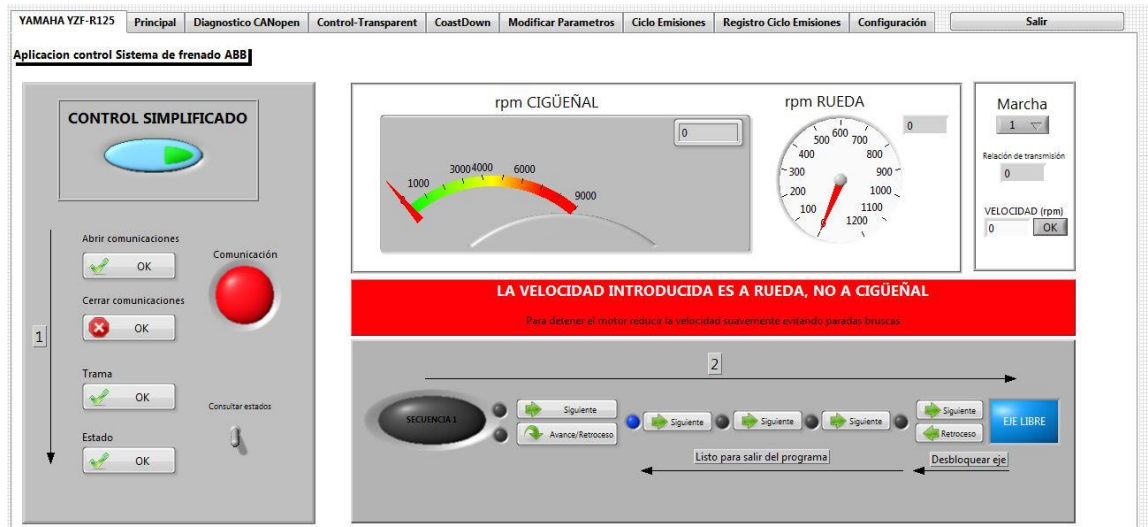
4.3.2. Funcionalidades específicas.

También es adecuado la adición de utilidades para el motor que se ha montado en el banco de ensayos, así resulta más fácil su control y la detección de posibles fallos. En este caso, incorpora un indicador de revoluciones acotado de la misma manera que la instrumentación que vería el motorista y la variación de la r_t en función de la marcha con la que se esté trabajando.

Para realizar esta lectura ha sido necesario añadir nuevo código dentro de la lectura de revoluciones en una estructura *case*. Cada caso obedece a la selección de la marcha escogida por el usuario, que aplica la relación de transmisión calculada, para transformar el número de revoluciones de la máquina eléctrica en las del cigüeñal.

4.3.3. Interfaz gráfica.

Como todas las funcionalidades incluidas en el programa raíz pueden resultar muy confusas para usuarios ocasionales, ha sido necesario recoger las necesarias dentro de una instrumentación virtual básica e intuitiva.



Sólo encontramos los controles necesarios para los ensayos estacionarios que se han realizado con el MCIA de la YAMAHA YZF-R125 y algunos controles implementados específicamente para este motor.

5. ENSAYOS Y RESULTADOS.

5.1. Protocolo de ensayos.

Para poder realizar los ensayos se ha ideado una secuencia concreta que minimiza los errores humanos y la identificación de posibles fallos. Esto también posibilita poner en marcha y desconectar el banco de ensayos con menores conocimientos previos.

5.1.1. Puesta en marcha del banco de ensayos.

1. COMPROBACIONES PREVIAS.

Antes de alimentar cualquier sistema debemos asegurarnos de que la zona de ensayos está libre de objetos que puedan causar daños o salir despedidos, no esté obstruido ningún mecanismo, las cadenas estén tensas y todos los tornillos y sujeciones estén apretados. También hay que verificar que no se ha producido una atmósfera explosiva/tóxica producto de la evaporación de hidrocarburos o combustión de. Una vez se haya realizado este proceso hay que comprobar que el MCIA tenga la mariposa cerrada, la caja de cambios en punto muerto y niveles de aceite, refrigerante y combustible en su medida correcta.

2. ALIMENTACIÓN BANCO DE ENSAYOS.

Se comienza con el encendido del armario ABB en el interruptor general, que alimenta la máquina eléctrica, los sistemas de comunicación y los servicios de banco conectados.

El armario arranca por defecto con unos valores predeterminados independientemente de su cifra antes de desconectarlo, se deben cambiar las limitaciones de par indicadas en la pantalla y comprobar si la corriente se deriva a nuestro banco de ensayo ligero y no al pesado. A continuación presionamos el botón de reseteo de emergencia y, seleccionando la máquina eléctrica conveniente, giramos el contacto para arrancarla. Debemos cerciorarnos de que hemos arrancado la máquina eléctrica correcta.

3. EJECUTAR APLICACIÓN.

Una vez energizada la máquina eléctrica, se ejecuta la aplicación para poder controlarla. El primer paso es conectar nuestro ordenador con el CAN-USB al armario, que se ve se comunica con la máquina eléctrica. Después se ejecuta el programa y seguimos los siguientes pasos:

- Dentro del menú seleccionamos la pestaña específica para la YAMAHA YZF-R125.
- Activamos el control simplificado.
- Abrimos comunicaciones (esperamos a que el led se encienda).
- Pulsamos todos los botones restantes en el siguiente orden; consultar estados, enviar trama y seguimos la secuencia de led's hasta que el último se haya encendido.

Tenemos el control de la máquina eléctrica y la llevamos a un punto de funcionamiento intermedio antes de arrancar el MCIA, este se encuentra a 451 r.p.m. contando que vamos a ensayar en la 5ª marcha. Si el MCIA ha estado funcionando con anterioridad y ya ha alcanzado la temperatura de funcionamiento, iremos directamente al punto de ensayo.

Paralelamente, se ha de conectar el USB del torquímetro, ejecutar el programa y hacer una tara inicial.

4. ARRANCAR EL MCIA

Antes de arrancar el motor se requiere subir los interruptores que alimenten tanto los sistemas de impulsión/extracción de aire/gases, como los de ventilación de la sala. Llegados a este punto, la cadena ya debe estar en movimiento, cabe la posibilidad de arrancarlo de dos maneras diferentes:

- Si el motor no ha estado funcionando, se arranca de la manera convencional y lo llevamos hasta la 5ª marcha. Se suelta el embrague lentamente para que se acople al movimiento de la máquina eléctrica y abrimos la mariposa hasta que notemos que empieza a pasar de ser el motor seguidor al tractor. Cuando haya

alcanzado una temperatura óptima encendemos el ventilador que simula el flujo de aire durante la circulación para refrigerar el radiador. Entonces es el momento de ir al punto de ensayo.

- Si el motor ha estado funcionando y mantiene la temperatura, abrimos la mariposa del acelerador hasta la posición deseada, encendemos directamente el ventilador para el radiador, introducimos la 5° marcha y soltamos con suavidad el embrague sin necesidad de usar el motor de arranque. Anteriormente ya teníamos la máquina eléctrica en la velocidad de ensayo, por lo que nos encontramos en el punto de ensayo.

5.1.2. Durante los ensayos.

Cuando nos hemos cerciorado de que nos hemos estabilizado en el punto de ensayo, debemos controlar el correcto funcionamiento del MCIA, la máquina eléctrica y las partes móviles del sistema. Principalmente consiste en una inspección visual de todos los elementos y controlar que los parámetros a medir se encuentran dentro de unos límites esperados, que no denoten un mal funcionamiento. Hay que mantener la atención sobre los indicadores de temperatura, combustible y revoluciones originales del motor. También prever paradas técnicas para realizar ajustes, repostar, etc. Como último objeto asegurar que antes de pasar al siguiente punto se han tomado todas las lecturas necesarias correctamente.

Si es necesario parar el MCIA, se baja la velocidad de la máquina eléctrica hasta el punto de 451 r.p.m. y paramos la combustión a la vez que soltamos el embrague que el motor no se acelere en vacío. Como la máquina eléctrica sigue en movimiento, tendremos que ir al punto muerto para que no se vuelva a provocar la combustión. Cada vez que se interrumpa el funcionamiento del MCIA y sea posible, se debe parar* la máquina eléctrica y situarla en el punto de desbloqueo antes mencionado. Para volver a arrancar iremos al punto anterior.

* La reducción de velocidad debe ser gradual para no dañar la máquina eléctrica.

5.1.3. Desconexión.

En este caso procedemos igual que el protocolo de parada del MCIA, pero llevaremos la máquina eléctrica hasta un punto anterior. Se dejan de consultar los estados y cerramos las comunicaciones. Presionamos el botón de salir y ya se puede cerrar la aplicación y desconectar el CAN-USB. También podemos cerrar el programa del torquímetro y desconectar el USB. Ya se puede apagar el ventilador que refrigera el radiador y la máquina eléctrica a través de la botonera del armario. Se debe dejar conectada la ventilación/impulsión de aire junto a la extracción de gases hasta que la atmósfera se haya normalizado, en este momento se apagan estos sistemas y finalmente la alimentación del armario desde el interruptor general.

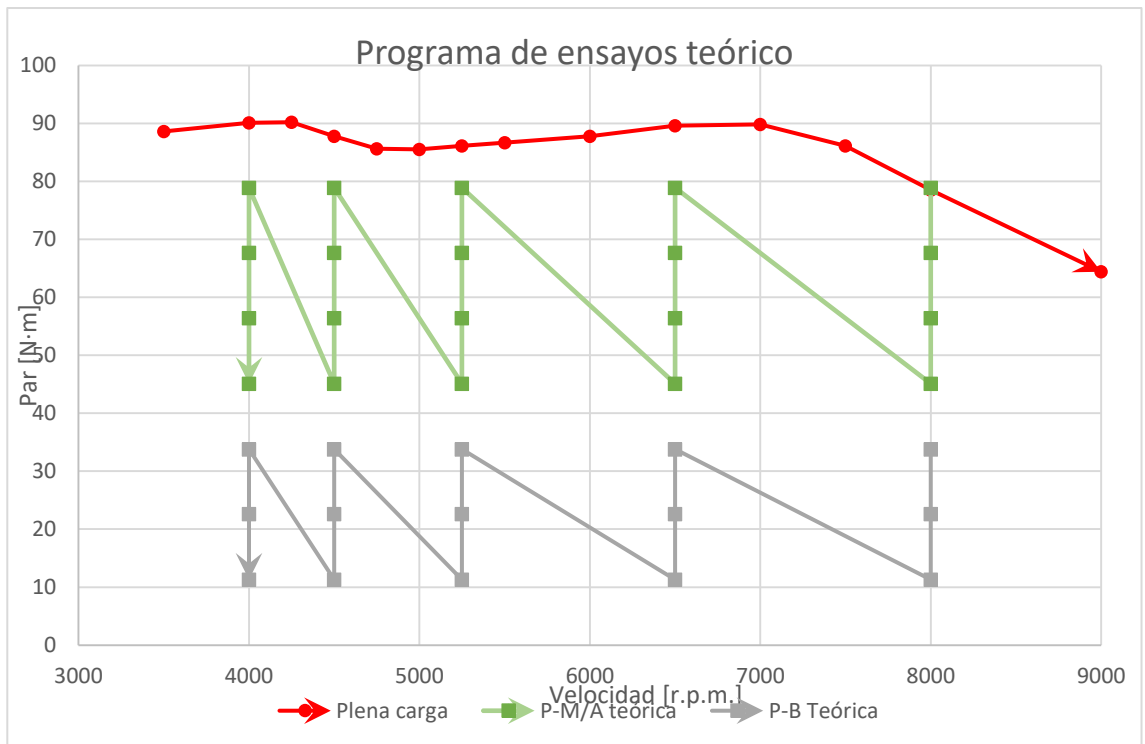
Por último queda una inspección ocular de la zona de ensayos para detectar roturas o deterioros si los hubiese, así como pérdidas de aceite, fugas en el radiador o en las conexiones de los sistemas de medida.

5.2. Programa de ensayos.

Antes de realizar los ensayos hay que tener muy claro la manera en la que se van a realizar, se ha determinado un sistema en el que se diferencian 3 partes o zonas por las que se mapean las prestaciones. También ha habido que seleccionar una marcha para ensayar en la que ambos motores (MCIA y máquina eléctrica) se encontrasen “cómodos”. Dado que la máquina eléctrica tiene par constante desde 0 a 2900 r.p.m., su curva determinante es la de potencia para revoluciones medias/bajas. Al tener carácter ascendente, se ha intentado trabajar en los puntos con mayor potencia, revoluciones más altas, para asegurar el permanecer por debajo del límite. Del otro lado está el MCIA que permite juego con su caja de cambios, lo ideal sería la marcha más larga para trabajar con mayores potencias en la máquina eléctrica, pero se ha reducido a la 5ª marcha debido a que el par de trabajo sería muy bajo y la máquina eléctrica podría no ser tan sensible a variaciones pequeñas de par por su rango considerablemente mayor al del MCIA.

La primera parte del ensayo se realiza a plena carga para conocer el límite de par superior del MCIA y acotando el rango de revoluciones a las que puede trabajar. Se realiza a intervalos de velocidad que varían entre 250, 500 y 1000 r.p.m. en el cigüeñal, aumentando la medida de los intervalos al acercarnos a altas revoluciones.

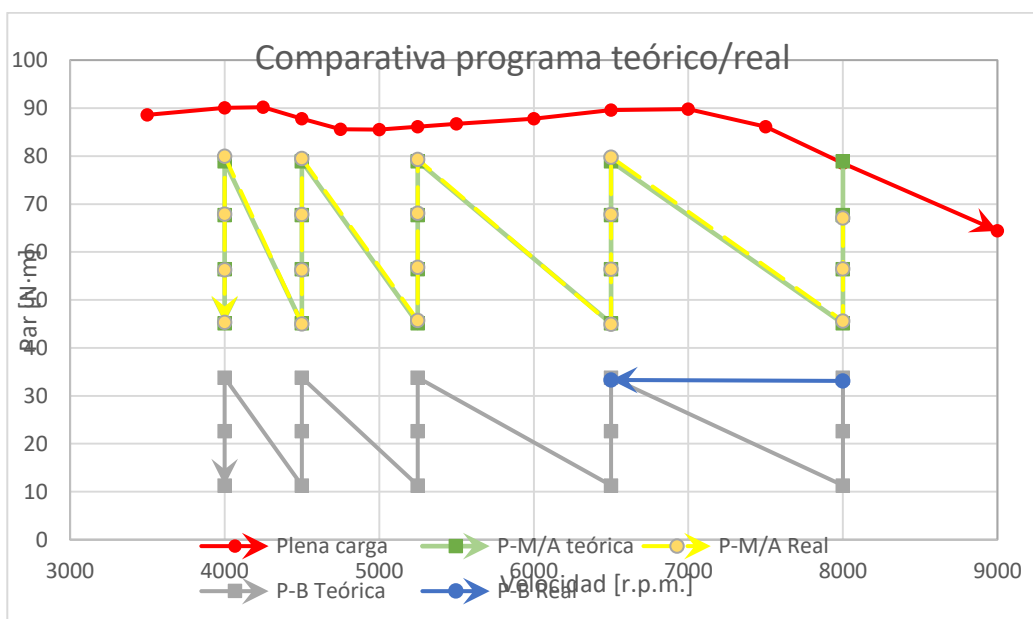
Una vez hemos obtenido la curva de plena carga se obtienen los valores de porcentaje del par máximo desde el 12.5 hasta el 87.5% y se marcan valores de velocidad en los que se van a estudiar las cargas parciales; estos últimos valores son a juicio del ingeniero en función de la forma de la curva a plena carga, intentando que sean equidistantes y suficientes para obtener toda la información necesaria. Los puntos del 12.5 al 37.5% serán de la zona de carga baja y del 50 al 87.5% de la zona media/alta, cada una se mapeará en un ciclo distinto.



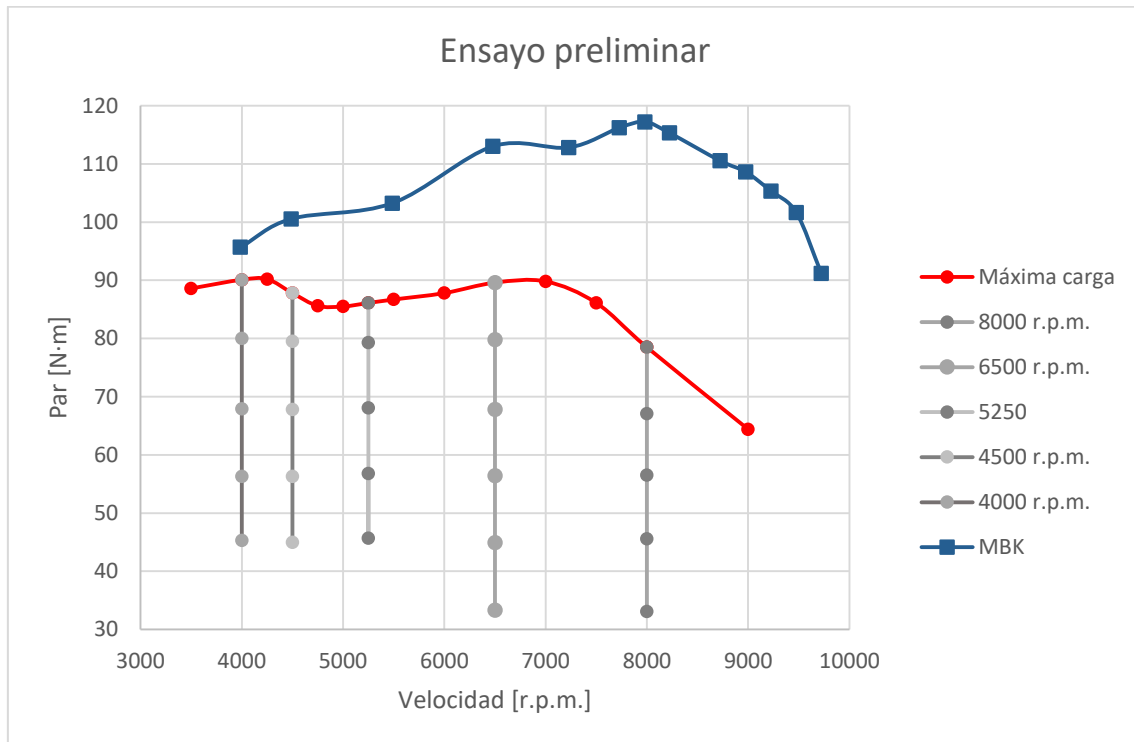
5.3. Resultados.

Nada más arrancar el MCI para ensayar, advertimos que el ralenti del motor ha cambiado a unas 1750 r.p.m.

El primer resultado obtenido es el mapeo de la curva a plena carga y las dos zonas de cargas parciales definidas en el apartado anterior.



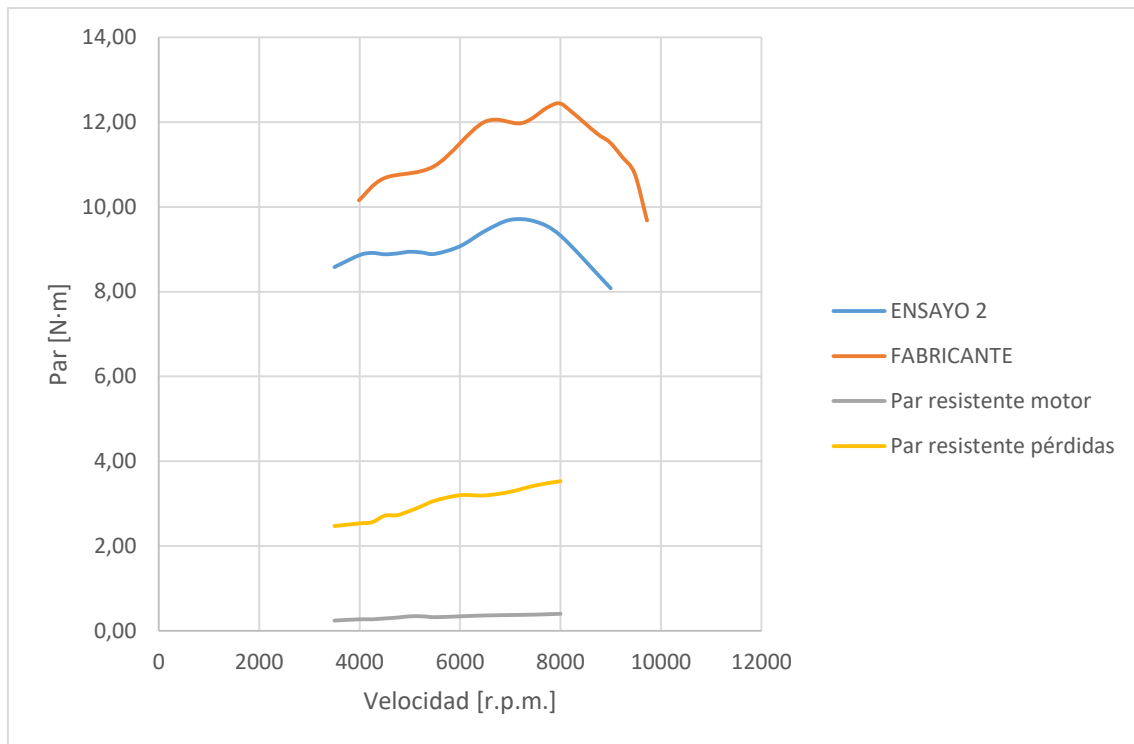
Se observa que en la zona de carga baja el programa realizado es completamente distinto al teórico, esto se debe a que en los puntos no medidos el MCIa pierde la combustión en el cilindro. También falta el primer punto de carga media/alta porque el par teórico a ensayar es superior al par máximo en esas revoluciones.



Con este primer ensayo es fácil ver que nos encontramos por debajo de las prestaciones, por lo que se ha repetido variando ciertas condiciones

5.4. Corrección de los resultados.

La segunda tanda de ensayos se realizó en las mismas condiciones que el anterior y posteriormente se midieron las pérdidas de la transmisión desde el cigüeñal hasta la máquina eléctrica y las pérdidas de bombeo en el MCIa. Así se obtiene esta segunda gráfica donde se tienen en cuenta las pérdidas y las desviaciones de los instrumentos de medida.



6. Análisis y conclusiones.

Se puede concluir que el MCIa sigue un perfil muy similar al proporcionado por el fabricante, sin embargo algo mermado por el envejecimiento del motor. Teniendo en cuenta las pérdidas de par durante los ensayos se llegan a valores muy similares, teniendo su mayor diferencia a altas revoluciones. Se denota una caída de par algo prematura.

7. Mejoras proyectadas.

7.1. Tobera para ventilador principal.

Dado que el ventilador centrífugo instalado no cumple con el objetivo de simular el flujo de aire a 120 km/h (33.33m/s) se requiere una tobera que le reduzca la sección transversal y lo acelere a la velocidad requerida. Además, constará de un laminador de celdillas cuadradas de aluminio con el fin de conseguir flujo laminar a la salida de tobera. Haciendo cálculos se obtiene que el área de salida debe ser de 0.106 m².

7.2. Ventilador secundario para cárter de aceite y encoder.

- Ventilador encoder y cárter de aceite

Para refrigerar encoder y el cárter de aceite se dispone de un ventilador helicoidal trifásico SODECA HAT-35-2T. Con una potencia máxima de 0,374 kW y hasta 2800rpm

7.3. Control electrónico del acelerador

Durante los ensayos ha sido difícil fijar ciertos puntos de la mariposa con el sistema utilizado, a causa de que el motor de CC que tira o afloja el cable se mueve demasiado rápido para ser controlado manualmente. Sería necesario omitir la botonera por la se controla actualmente, ya que el mando queda limitado a la sensibilidad de la mano humana y es bastante impreciso. La nueva regulación del acelerador sería conveniente realizarla con un nuevo módulo multiplexor para el data logger, el 34903 A, que posibilita 120 aperturas y cierres por segundo del canal de salida. Con esta nueva utilidad se conseguiría un control mucho más preciso sobre la mariposa del acelerador.

7.4. Protección de las cadenas.

Los elementos móviles de todos los sistemas mecánicos deben quedar cubiertos por protecciones para que no puedan dañar a ningún operario y a la vez no puedan despedir algún objeto que interfiera por accidente con ellas. El conjunto de transmisión por cadena es la parte que más riesgo supone para los operarios durante los ensayos, se mueve a gran velocidad, ocupa gran espacio, contiene objetos altamente cortantes (ruedas dentadas), puede lanzar despedidos fragmentos de cualquier objeto que entre en contacto o suyos propios en caso de rotura y una caída desde la zona de trabajo hacia las cadenas supondría grandes daños para una persona.

9. BIBLIOGRAFÍA

http://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE07_HCH_HCT_2016ES.pdf

<https://www.kistler.com/es/productos/componentes/sensores-de-par/>

<https://www.kistler.com/es/producto/type-4541a/>

<https://www.kistler.com/es/producto/type-4550a/>

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-5290ESE.pdf>

<http://www2.apabcn.cat/tecnica/renart/bases/pdfs/alcala/8607005.PDF>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_552.pdf

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997L0024&from=ES>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31997L0024>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168&from=es>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:32013R0168>

<https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-elite-series-coriolis-flow-density-meters-en-66748.pdf>