



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática

**Definición y programación del sistema de
control de una instalación de ensayo de
MCIA**

Autor:

Jorge Peña Rodríguez

Tutor:

Dr. Andrés Melgar Bachiller

Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica

Valladolid, junio de 2017.

RESUMEN

El proyecto se centra en una instalación ya existente, localizada en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid (Sede Paseo del Cauce), dentro del laboratorio de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Esta instalación es una sala de ensayos que consta como elemento principal de un motor de combustión interna alternativo (MCIA) que es controlado y monitorizado a través de un ordenador.

En el proyecto se implementa una mejora en el programa del ordenador, realizado con el software LabView que es una plataforma y entorno de desarrollo de sistemas basada en programación visual y flujos de datos, que permite crear un interfaz hombre-máquina (HMI) entre el usuario y el motor, así como una mejora en la instalación eléctrica en lo referente al control y método de arranque del motor.

Palabras clave:

- ❖ Motor de combustión interna alternativo
- ❖ Banco de ensayos
- ❖ Cuadros eléctricos
- ❖ Programación LabView
- ❖ Variador de frecuencia

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	DESCRIPCIÓN DE LA SALA DE ENSAYOS.....	7
2.1.	Introducción.....	7
2.2.	Motor de combustión interna alternativo (MCIA).....	9
2.3.	Funcionamiento.....	11
2.4.	Sistema de encendido.....	13
2.5.	Productos para la alimentación del motor.....	14
2.5.1.	Comburentes.....	14
2.5.2.	Combustibles.....	15
2.5.3.	Electrolizador.....	17
2.5.4.	Proporciones de productos.....	19
2.6.	Control del caudal de los productos.....	21
2.7.	Modo de arranque.....	21
3.	MOTOR ELÉCTRICO Y CONTROL.....	22
3.1.	Motor eléctrico.....	22
3.2.	Arrancador.....	23
3.3.	Variador de frecuencia.....	24
3.4.	Comparación entre arrancador y variador de frecuencia.....	26
3.5.	Instalación inicial con arrancador.....	28
3.6.	Instalación final con variador de frecuencia.....	31
3.7.	Configuración del variador de frecuencias.....	33
4.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	37
4.1.	Cuadros eléctricos.....	37
4.1.1.	Cuadro de sala.....	38
4.1.2.	Cuadro de potencia.....	39
4.1.3.	Cuadro de mando.....	40
4.2.	Distribución de potencias.....	41
4.3.	Modificaciones realizadas.....	43
4.4.	Sinóptico de red.....	43

5. PROGRAMACIÓN.....	45
5.1. Configuración comunicaciones.....	45
5.2. Funciones añadidas	49
5.2.1. Gestión de ventanas.....	49
5.2.2. Representación gráfica de datos.....	53
5.2.3. Generación de ficheros	54
5.2.4. Modo de pruebas.....	57
5.3. Pantallas.....	59
5.4. Configuraciones del programa.....	62
5.5. Generar ejecutable	63
6. SEGURIDADES Y PUESTA EN MARCHA	66
6.1. Canal de seguridad.....	66
6.2. Peligros y advertencias.....	69
6.3. Prohibiciones y protecciones	71
6.4. Puesta en marcha.....	73
CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81

1. INTRODUCCIÓN

La sala de ensayos que posee el laboratorio de Ingeniería Energética y Fluidomecánica se utiliza para el estudio del proceso de combustión en un motor de combustión interna alternativo (MCIA), que es comandado y monitorizado por el resto de elementos que constituyen la instalación.

La instalación está formada, además del motor de combustión, por: la unidad de control u ordenador que actúa como interfaz hombre-máquina entre el usuario y el motor; la instalación neumática que controla los flujos de aire y combustible; y la instalación eléctrica que alberga los diferentes elementos para la gestión y adaptación de señales, potencias y comunicaciones de red.

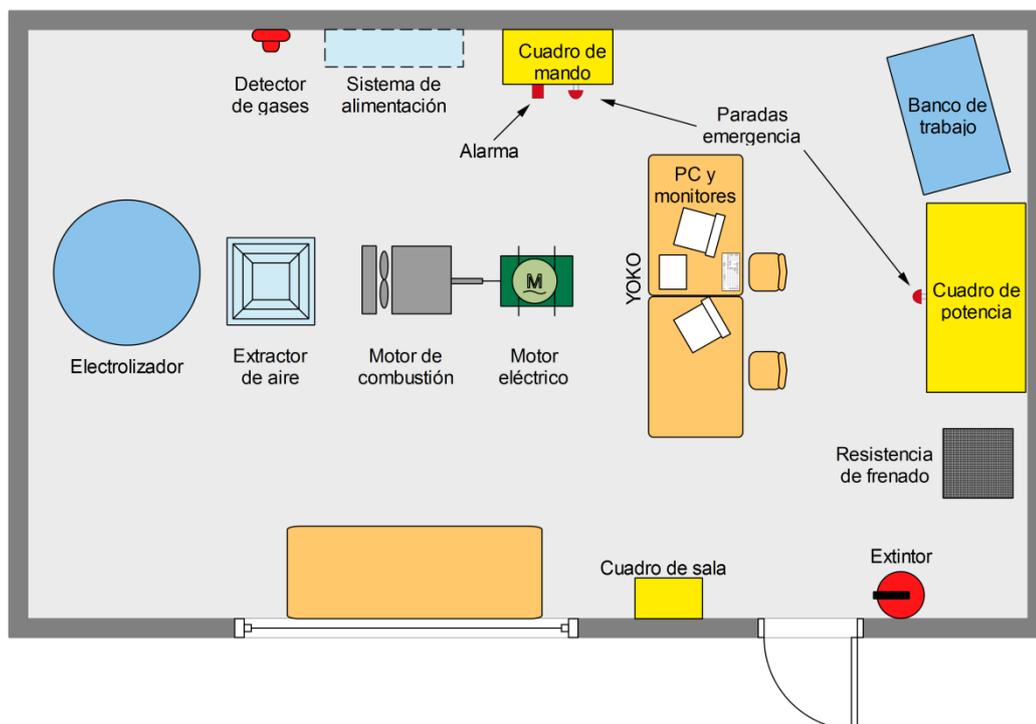


Imagen 1. Plano de la sala de ensayos.

Esta instalación permite al departamento el estudio y análisis del comportamiento de un motor de combustión interna alternativo mediante la realización de ensayos.

Estos ensayos consisten en observar el comportamiento del motor ante diferentes condiciones y variables de entrada. Visualizando en tiempo real los valores de salida que se obtienen en función de las entradas.

Hasta ahora la instalación estaba sin documentar: faltaban esquemas eléctricos, manuales, procedimientos de marcha, explicación del software, etc. Además, la organización del software y la presentación de los datos medidos no era la más visual e intuitiva posible para el usuario, y muchos de estos datos no podían ser grabados y almacenados para un posterior análisis.



Imagen 2. Unidad de control o PC desde donde se controla y monitoriza el motor.

Por ello, el objetivo de este proyecto es el de documentar adecuadamente la instalación, así como una mejora del software y del sistema de arranque del motor.

Con este proyecto se quiere documentar y explicar al usuario la instalación de la sala de ensayos, es por ello que a lo largo de este documento se encuentren apartados con explicaciones en forma de manual para que un usuario sea capaz de realizar los procedimientos necesarios para el funcionamiento de la instalación, su configuración y su puesta en marcha.

El nuevo software tiene como objetivo una mejora de la gestión de las ventanas y menús, y en la posibilidad de indicar los valores de los datos del motor y representarlos gráficamente en tiempo real, así como generar ficheros con los datos leídos y su media; de esta forma las lecturas pueden ser almacenadas para poder ser observadas, graficadas o analizadas posteriormente.

Y las modificaciones referidas al arranque del motor tienen como finalidad conseguir un mejor método de arranque controlado con la velocidad de giro deseada.

2. DESCRIPCIÓN DE LA SALA DE ENSAYOS

2.1. Introducción

En este apartado se va a describir el funcionamiento general de la sala de ensayos para dar una primera idea de cómo es la instalación, qué elementos la forman y cuál es la función de cada uno.

Como el objeto de estudio en la instalación es el motor de combustión, el resto de elementos tienen como función el controlar y monitorizar este motor. El ordenador (PC) se considera el elemento maestro de la instalación puesto que es el que controla y recibe toda la información del motor.

El PC recibe información de los sensores de presión y temperatura a través de los módulos de E/S y también recibe información sobre el régimen de giro del motor a través del osciloscopio, además controla la alimentación del motor a través de los controladores de caudal. Tanto los módulos de E/S como los controladores se encuentran en la red de comunicaciones RS-485 que se comunica con el PC a través del módulo que sirve como enlace entre esta red y la comunicación serial (USB), a este módulo se le denominará ADAM.

El motor eléctrico necesario para arrancar el motor de combustión es controlado inicialmente con un arrancador, que en este proyecto ha sido sustituido por un variador de frecuencias.

Y el osciloscopio Yokogawa, que a lo largo del proyecto se le denomina como YOKO, es el encargado de recibir las señales del encoder para conocer la información sobre el régimen de giro y la posición angular del motor para enviar estos datos al PC y sincronizar los cálculos de forma correcta. Y además al conocer la posición de giro del motor es el encargado de enviar la señal al sistema de encendido Renix para el disparo de la chispa en la bujía que encienda la mezcla y produzca la combustión.

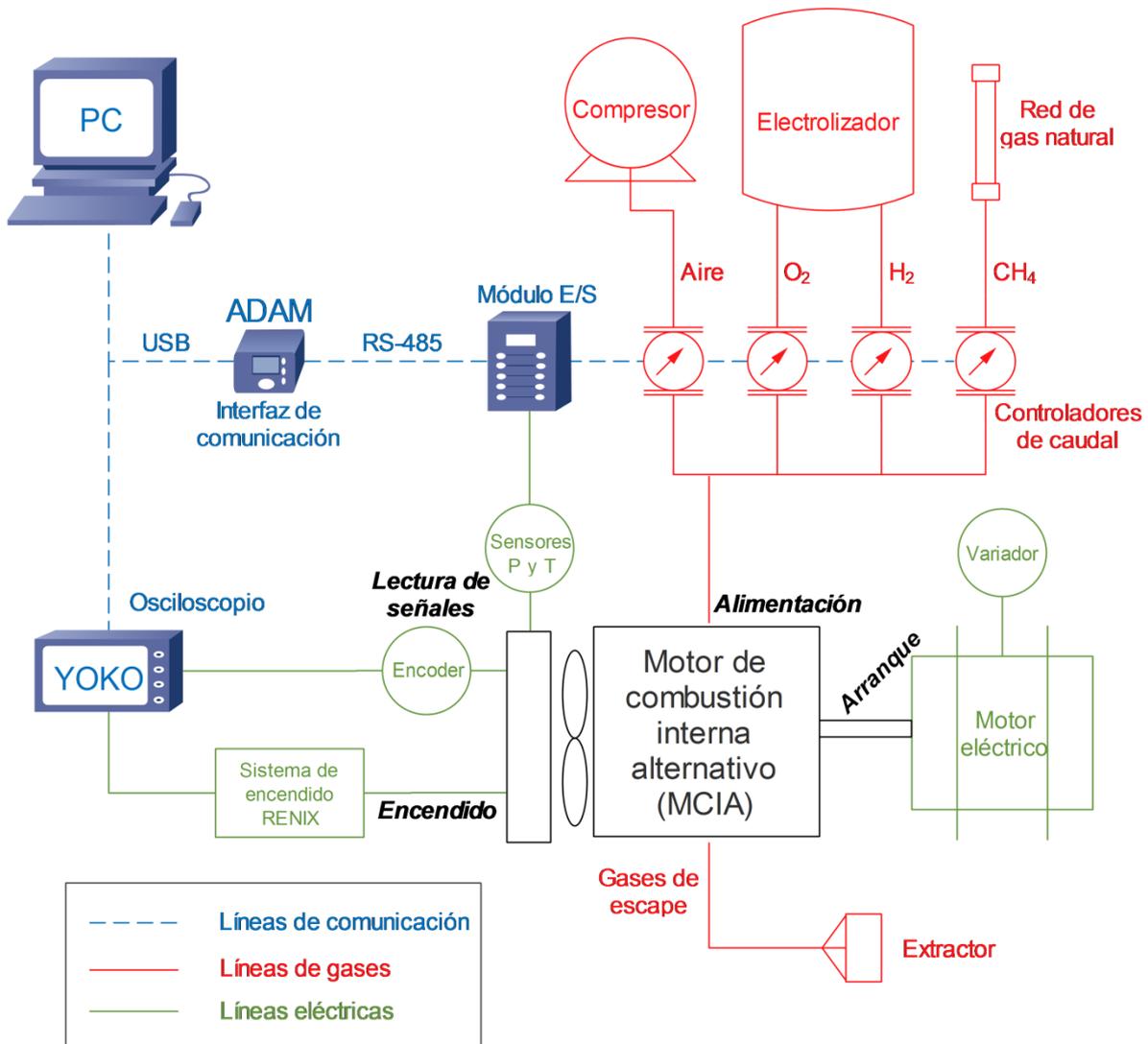


Imagen 3. Diagrama P&ID de la sala de ensayos

En los siguientes apartados primero se va a explicar un concepto general de los motores de combustión interna alternativos y a continuación se hablará del funcionamiento, alimentación, encendido, etc... en específico del motor de combustión de la sala de ensayos.

2.2. Motor de combustión interna alternativo (MCIA)

Un motor de combustión interna alternativo (MCIA) es un motor térmico en el que la combustión se produce con la mezcla de un combustible y un oxidante (normalmente aire) en la cámara de combustión, que es parte del circuito del fluido. En este tipo de motor la expansión de los gases de alta temperatura y alta presión producidos por la combustión aplican una fuerza directa a los pistones, que son empujados definiendo un movimiento linealmente alternativo, transformando la energía química en energía mecánica útil.

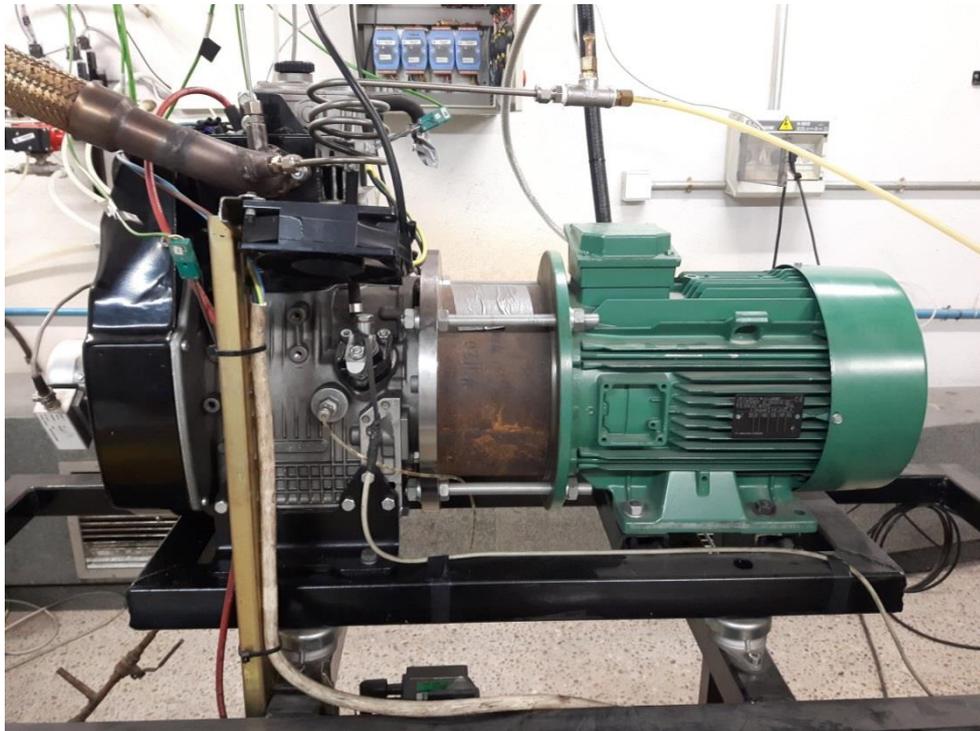


Imagen 4. Motor de combustión interna alternativo (MCIA).

En la mayoría de los casos, el movimiento lineal del pistón se convierte en un movimiento de rotación a través de una biela y un cigüeñal. Por lo general, cuantos más cilindros tenga un motor alternativo más libre de vibraciones y sin problemas puede funcionar. La potencia de un motor alternativo es proporcional al volumen del desplazamiento de los pistones combinados.

Es común clasificar estos motores por la alineación y el número de cilindros y el volumen total de desplazamiento del gas por los pistones. Usualmente medidos en centímetros cúbicos (cm³) o en litros (L). Por ejemplo, para motores de combustión interna, los diseños de uno y dos cilindros son comunes en vehículos pequeños, como motocicletas; mientras que los automóviles suelen tener entre cuatro y ocho.

Los cilindros pueden estar alineados en diferentes configuraciones: en línea, en V, horizontalmente opuestos entre sí, o radialmente alrededor del cigüeñal.

Los motores de combustión interna requieren de válvulas para permitir la entrada y salida de gases en los momentos correctos del ciclo del pistón. Estas son activadas por levas, excéntricas o manivelas impulsadas por el propio eje del motor.

Estos motores funcionan a través de una secuencia de tiempos que admiten y eliminan gases hacia y desde el cilindro. Estas operaciones se repiten cíclicamente y se dice que un motor es de 2 tiempos o de 4 tiempos dependiendo del número de carreras (tiempos) que tarda en completar un ciclo.

Los motores de combustión interna alternativos pueden clasificarse en función de dos criterios:

- Según la forma de provocar la ignición o encendido de la mezcla:
 - Mediante encendido provocado, donde la bujía inicia la combustión a través de una chispa.
 - Mediante encendido por compresión, en el que el aire dentro del cilindro se comprime, calentándose de tal manera que el aire caliente inflama el combustible que es inyectado en la fase final de la compresión.

- Según la forma de hacer la renovación de la carga
 - Ciclo de cuatro tiempos, o 4T, que realizan las cuatro etapas del ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en cuatro movimientos lineales del pistón (dos vueltas del cigüeñal). En estos motores, la renovación de la carga se controla mediante la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape.

- Ciclo de dos tiempos, o 2T, que realizan las cuatro etapas del ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en dos movimientos lineales del pistón (una vuelta del cigüeñal). El final de la etapa de combustión y el comienzo de la etapa de compresión ocurren simultáneamente, y las funciones de admisión y de escape se producen al mismo tiempo.

El motor de combustión que se encuentra en el laboratorio es de un único cilindro con una cilindrada de 377cc, de cuatro tiempos (4T), con la posibilidad de ser alimentado con varios combustibles y con un sistema de encendido basado en el sistema de batería y bobina. En los siguientes apartados se detallará información específica del motor de combustión del laboratorio.

2.3. Funcionamiento

El motor de combustión interna basa su funcionamiento en la combustión de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón. Este movimiento es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo.

Al tratarse de un motor de cuatro tiempos, el ciclo de funcionamiento lo forman las siguientes etapas:

1. **Primer tiempo o admisión:** Esta etapa del pistón comienza en el punto muerto superior (PMS) y termina en el punto muerto inferior (PMI). Durante esta etapa la válvula de admisión debe permanecer abierta mientras el pistón introduce una mezcla aire-combustible en el cilindro produciendo presión de vacío en el cilindro a través de su movimiento descendente.
2. **Segundo tiempo o compresión:** Esta etapa comienza en el punto muerto inferior (PMI), justo al final del desplazamiento de succión del pistón, y termina en el punto muerto superior (PMS). Durante esta etapa el pistón comprime la mezcla aire-combustible preparándola para la ignición. Las válvulas de admisión y de escape permanecen cerradas durante esta etapa.

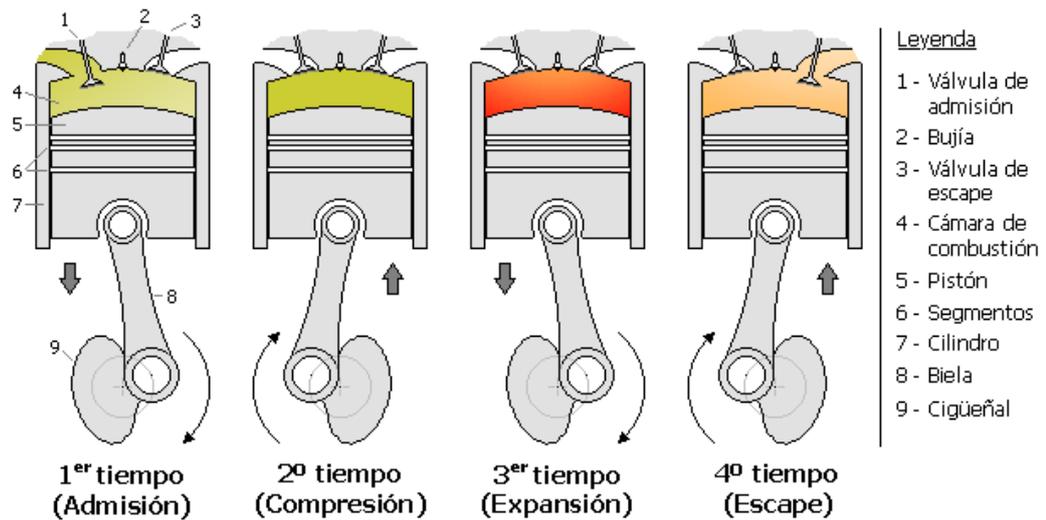


Imagen 5. Ciclo de un motor de cuatro tiempos. [Recurso: Wikipedia]

3. **Tercer tiempo o expansión:** Este es el inicio de la segunda revolución del ciclo de cuatro tiempos, en este punto el cigüeñal ha completado una revolución completa de 360 grados. Mientras que el pistón está en el punto muerto superior (PMS), justo al final del desplazamiento de compresión, la mezcla de aire-combustible comprimida es encendida por una chispa, devolviendo con fuerza el pistón al punto muerto inferior (PMI). Esta etapa produce la energía mecánica para girar el cigüeñal.
4. **Cuarto tiempo o escape:** Durante la etapa de escape, el pistón regresa de nuevo del punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS), mientras la válvula de escape permanece abierta. Este desplazamiento expulsa los gases resultantes de la combustión a través de la válvula de escape.

2.4. Sistema de encendido

Los motores de encendido provocado necesitan una forma de iniciar la combustión dentro del cilindro. En este motor el sistema de encendido se basa en la generación de chispa mediante el uso de batería y bobina.



Imagen 6. Sistema Renix.

El sistema empleado para el encendido se denomina Renix, el cual integra las bobinas y el circuito de control para el disparo de la chispa en la bujía.

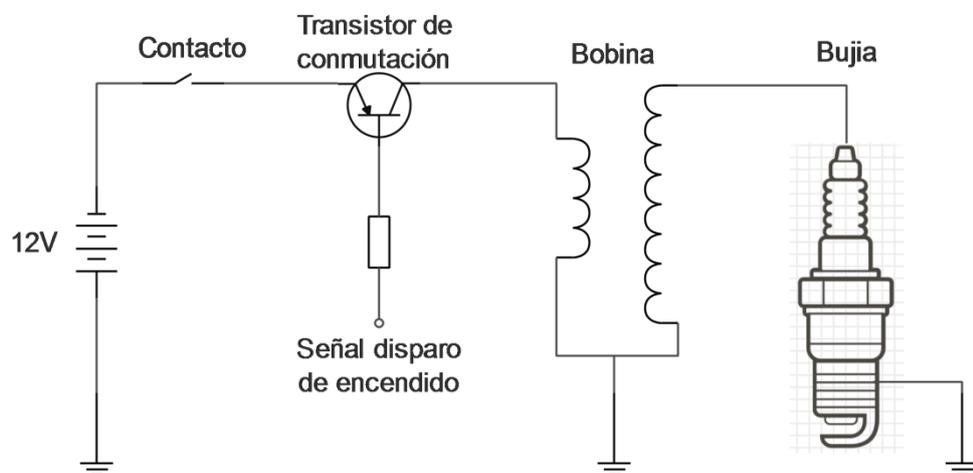


Imagen 7. Circuito del sistema de encendido

El circuito está alimentado con una tensión continua de 12V que llega al transistor de conmutación cuando se activa el contacto a través de un botón del programa de ordenador, el semiconductor deja circular esos 12V cuando se activa la señal trigger de encendido que llega del osciloscopio. Al alimentar el circuito primario de la bobina se genera alta tensión en el circuito secundario que llega a la bujía generando la chispa.

2.5. Productos para la alimentación del motor

Para toda combustión es necesario un combustible y un comburente. Un combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor y un comburente es cualquier sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando así una combustión, actúa oxidando al combustible y, por lo tanto, siendo reducido por este último.

En la instalación se dispone de varios elementos gaseosos para la alimentación del motor, que se describen a continuación.

2.5.1. Comburentes

- **Aire:** Ya que está constituido por oxígeno atmosférico en una concentración de porcentaje en volumen de aproximadamente el 21%. Se consigue a través de un compresor situado junto a la sala de ensayos.
- **Oxígeno (O₂):** Oxígeno puro que se consigue mediante el electrolizador a través del proceso de la electrólisis del agua.



Imagen 8. Compresor de aire.

2.5.2. Combustibles

- Gas natural / metano (CH₄):

El metano (CH₄) es uno de los componentes del gas natural. La reacción entre el metano y el oxígeno presente en el aire se denomina reacción de combustión. En la combustión del metano hay involucrados una serie de pasos.

El metano reacciona en primer lugar con el oxígeno presente en el aire para formar formaldehído (HCHO o H₂CO). Acto seguido el formaldehído se descompone en el radical formil, que a continuación da dióxido de carbono e hidrógeno. Este proceso es conocido en su conjunto como pirólisis oxidativa.

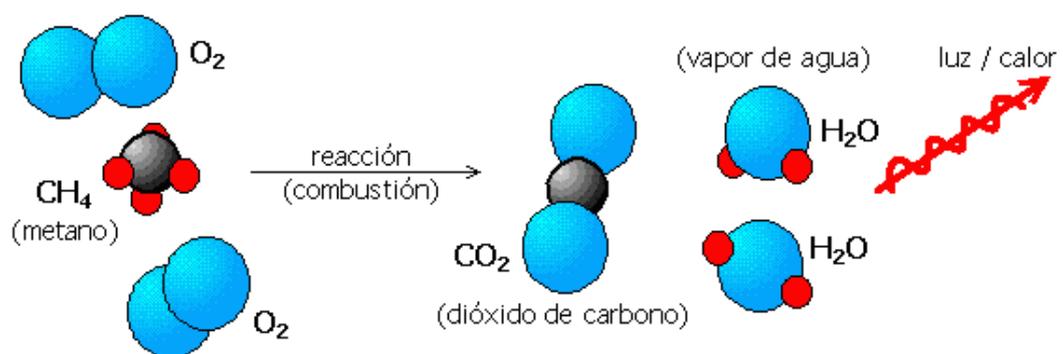
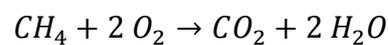


Imagen 9. Reacción combustión metano. [Recurso: Wikipedia]

Si bien su calor de combustión, de unos 802 kJ/mol, es el menor de todos los hidrocarburos, si se divide entre su masa molecular (16 g/mol) se encuentra que el metano produce más cantidad de calor por unidad de masa que otros hidrocarburos más complejos.

- **Hidrógeno (H₂):**

El combustible de hidrógeno es un combustible de emisión cero. Este elemento está ubicado en el primer grupo y en el primer período de la tabla periódica, siendo el primer elemento de la tabla periódica y convirtiéndolo en el elemento más liviano en el universo. Dado que el gas de hidrógeno es tan ligero, se eleva en la atmósfera y por lo tanto raramente es encontrado en su forma pura, H₂.

En la combustión del gas de hidrógeno puro, quemándose en el aire, el hidrógeno (H₂) reacciona con el oxígeno (O₂) para formar agua (H₂O) y liberar calor.

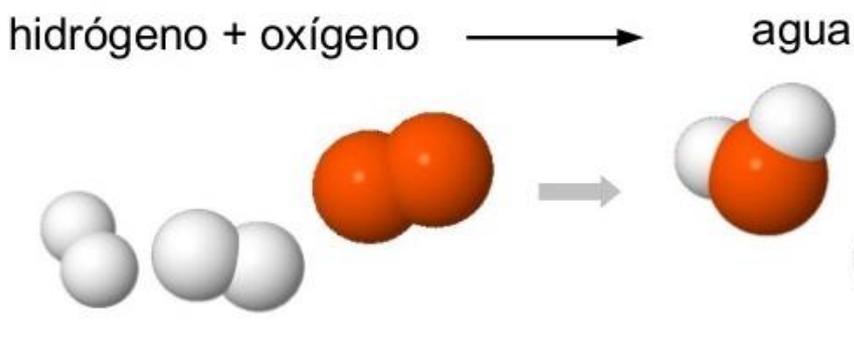
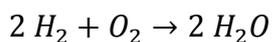


Imagen 10. Reacción combustión hidrógeno. [Recurso: Wikipedia]

Si la combustión se produce con el aire atmosférico en vez de oxígeno puro (como normalmente es el caso), la combustión del hidrógeno puede producir pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno, junto con el vapor de agua.

2.5.3. Electrolizador

Tanto el combustible de hidrógeno (H_2) como el comburente de oxígeno (O_2) se obtienen con el electrolizador que se encuentra en la sala de ensayos. Con este aparato se realiza la electrólisis del agua.



Imagen 11. Electrolizador.

La electrólisis del agua es la descomposición del agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica continua que se conecta mediante electrodos al agua. La fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos (típicamente hechos de algún metal inerte como el platino o el acero inoxidable), los cuales son puestos en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado).

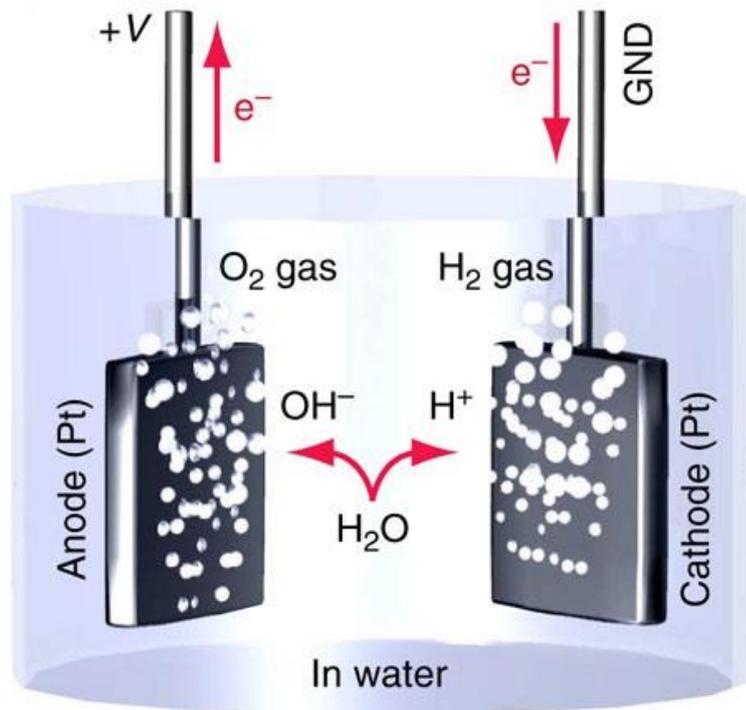
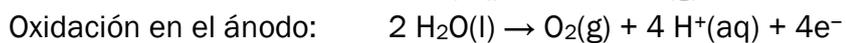


Imagen 12. Proceso de electrolisis del agua. [Recurso: Lidia con la química (blog)]

Las reacciones que tienen lugar en los electrodos son:



Sumando las semireacciones anteriores se obtiene la reacción global:

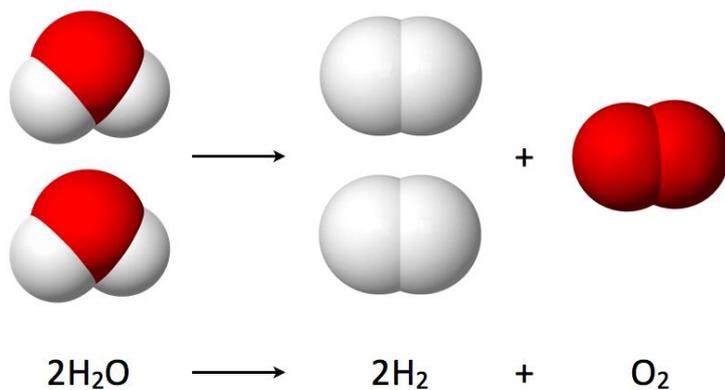
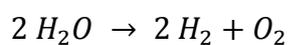


Imagen 13. Reacción electrolisis del agua. [Recurso: Wikipedia]

Como se puede apreciar el número de moléculas de hidrógeno producidas duplica el número de moléculas de oxígeno. Además el número de electrones transportados a través de los electrodos es el doble del número de moléculas de hidrógeno producidas y el cuádruple del número de moléculas de oxígeno obtenidas.

2.5.4. Proporciones de productos

Las cantidades de producto con las que se alimenta al motor de combustión son seleccionadas por el usuario, esto hace necesario que el usuario tenga conocimientos sobre estas reacciones de combustión, las cantidades y proporciones necesarias y los posibles riesgos.

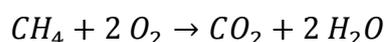
A continuación se calculan las proporciones de comburente / combustible para cada una de las posibles mezclas con las que se puede alimentar al motor del laboratorio.

$$Relación_{comburente/combustible} = \frac{n_{comburente} \cdot M_{comburente}}{n_{combustible} \cdot M_{combustible}}$$

n: moles M: peso molecular

- **Relación O₂/CH₄**

Siendo la ecuación estequiométrica:



Tenemos que:

$$Relación_{O_2/CH_4} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 16}{1 \cdot 16} \Rightarrow \boxed{Relación_{O_2/CH_4} = 4}$$

- **Relación aire/CH₄**

Se calcula la cantidad del aire a partir del porcentaje en masa del O₂ en aire:

$$Porcentaje \text{ en masa } O_2 \approx 23,5\%$$

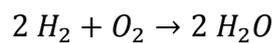
Tenemos que:

$$Relación_{aire/CH_4} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 16 \cdot \frac{100}{23,5}}{1 \cdot 16} \Rightarrow \boxed{Relación_{aire/CH_4} = 17}$$

De la misma forma calculamos los porcentajes para el combustible de hidrógeno H₂.

- **Relación O₂/H₂**

Siendo la ecuación estequiométrica:



Tenemos que:

$$Relación_{O_2/H_2} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 16}{2 \cdot 2 \cdot 1} \Rightarrow \boxed{Relación_{O_2/H_2} = 8}$$

- **Relación aire/H₂**

$$Relación_{aire/H_2} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 16 \cdot \frac{100}{23,5}}{2 \cdot 2 \cdot 1} \Rightarrow \boxed{Relación_{aire/H_2} = 34}$$

Se recomienda trabajar ligeramente por encima de estas proporciones para obtener un exceso de aire u oxígeno y así asegurar el quemado de todo el combustible evitando la acumulación de éste, ya que sería una situación de riesgo.

2.6. Control del caudal de los productos

Para controlar el caudal másico de los productos que alimentan al motor se emplean cuatro caudalímetros másicos, cada uno para uno de los productos: Aire, O₂, H₂, CH₄. Estos caudalímetros realizan tanto la lectura como el control del flujo másico, son del fabricante BROOKS y su principio de medida es el de diferencia de temperaturas, es decir, se colocan dos termistores y en el centro de ellos una pequeña resistencia calentadora. Conociendo la diferencia de temperaturas y la capacidad calorífica del gas se consigue el flujo másico.

Al poseer protocolo RS-485 es capaz de comunicarse con el ordenador, así que la visualización de la lectura del caudal y la selección del flujo másico de los productos que alimentan al motor se realiza desde el ordenador.

2.7. Modo de arranque

Los motores de combustión interna son sistemas de retroalimentación que una vez iniciados, se basan en la inercia de cada ciclo para iniciar el siguiente. En un motor de cuatro tiempos, el tercer tiempo libera energía del combustible, impulsando el cuarto tiempo de escape y también los dos primeros tiempos (de admisión y de compresión) del ciclo siguiente.

Para iniciar el primer ciclo en un arranque, el motor no produce un par de fuerzas, esto implica que los dos primeros tiempos deben ser alimentados de alguna otra forma que no sea con el propio motor. Para este propósito se emplea el motor eléctrico que transmite el movimiento al cigüeñal, y este motor eléctrico ya no se requiere una vez que el motor de combustión comienza a funcionar y su bucle de realimentación se vuelve autosostenible.

El motor eléctrico al estar conectado al cigüeñal del motor de combustión y al ser el responsable del arranque de éste, es importante que tenga un buen método de arranque controlado; regulando la velocidad de forma que sea óptima para el arranque del motor de combustión.

3. MOTOR ELÉCTRICO Y CONTROL

3.1. Motor eléctrico

Como se ha explicado en el apartado anterior, el motor de combustión no es capaz de arrancar por sí mismo, por ello es necesario el empleo de un motor eléctrico. Además debe de ser un arranque controlado y seguro; y con una velocidad regulada óptima para el buen arranque y funcionamiento del motor de combustión.



Imagen 14. Motor eléctrico (de color verde) acoplado al motor de combustión.

Las características técnicas del motor eléctrico de la sala son las siguientes:

Fabricante	Leroy Somer
Tipo	Asíncrono

Conexión	Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	RPM	Potencia (Kw)	cosφ	Intensidad (A)
Δ	230	50	1460	5,50	0,87	18,0
Y	380	50	1460	5,50	0,87	10,4

La velocidad adecuada para el arranque del motor de combustión es la del régimen nominal del motor eléctrico, esto son 1460rpm a 50Hz. Ya que a velocidades menores el par de arranque es elevado y la intensidad se dispara, dando problemas el variador por sobreintensidad. En un arranque en caliente la velocidad puede ser menor, ya que las pérdidas mecánicas son menores.

3.2. Arrancador

Un arrancador es un dispositivo electrónico que permite controlar el arranque y parada de motores de inducción, ayudando a proteger el motor y prolongando la vida útil del sistema.

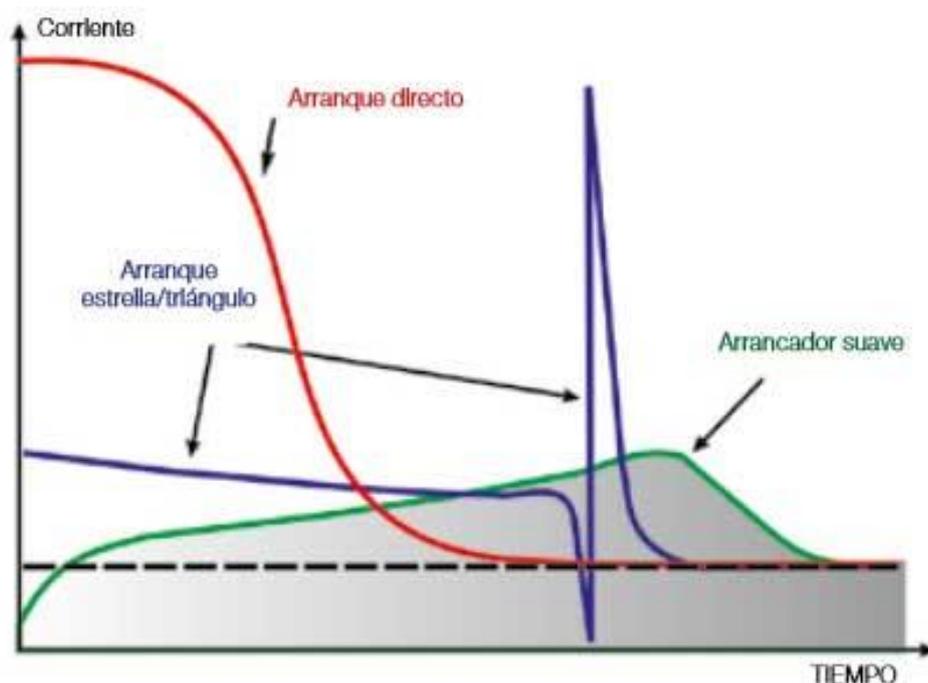


Imagen 15. Gráfico de diferentes métodos de arranque. [Recurso: Igueren (blog)]

El arranque directo de los motores de inducción está acompañado de corrientes de arranque hasta 7-10 veces mayores que la corriente nominal de funcionamiento y el par de arranque hasta 3 veces mayor que el par nominal. El par incrementado da como resultado un esfuerzo brusco mecánico en la máquina lo que conduce a una vida útil reducida. Además, la alta corriente de arranque también afecta a la línea de alimentación, lo que puede conducir a caídas de tensión. Como resultado, la vida útil de equipos sensibles puede reducirse.

Los arrancadores suaves limitan la corriente y el par de arranque, permitiendo ejercer un control de la tensión desde cero hasta la nominal para el arranque y al revés para la parada. Regula el voltaje de modo que el motor recibe primero una alimentación de baja tensión que va ascendiendo hasta que el motor empieza a girar, ahorrando en el desgaste y colaborando a que los componentes electrónicos duren más tiempo. Mediante el control progresivo de la tensión de alimentación se logra la adaptación del motor al comportamiento de la carga de la máquina accionada.

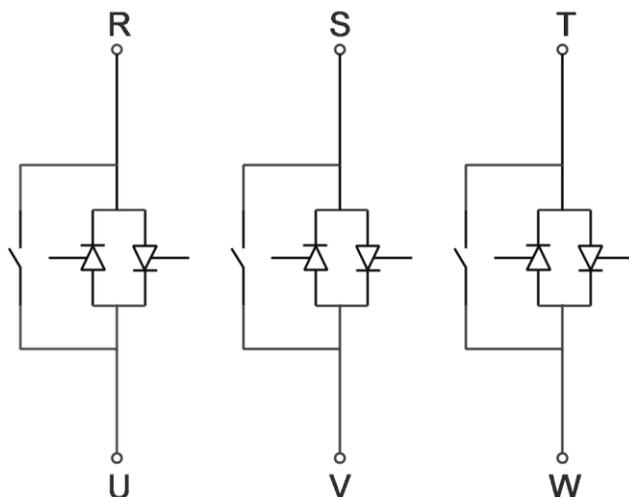


Imagen 16. Circuito de control del arrancador.

El arrancador posee un by-pass interno que al finalizar el arranque conecta el motor a la alimentación directa de la red permitiendo al motor actuar como un generador eléctrico y volcando energía a la red cuando es girado por el motor de combustión, ya que su régimen de giro supera la velocidad de sincronismo.

3.3. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un tipo de controlador utilizado en motores de corriente alterna para controlar la velocidad y el par del motor, variando la tensión y la frecuencia de entrada del motor.

El controlador del variador de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. La electrónica del controlador se divide en tres etapas distintas: un puente rectificador, un enlace de corriente continua y un inversor.

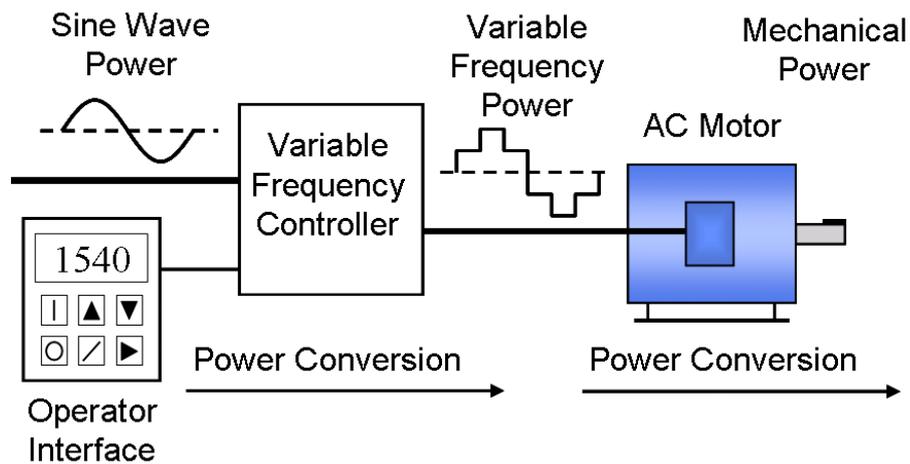


Imagen 17. Conversión de señales del variador. [Recurso: Wikipedia]

En la primera etapa el puente rectificador convierte la corriente alterna en una señal de corriente continua, este voltaje es filtrado en la segunda etapa por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión unos semiconductores se encienden y apagan en una determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de corriente continua a un frecuencia constante, la cual su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.

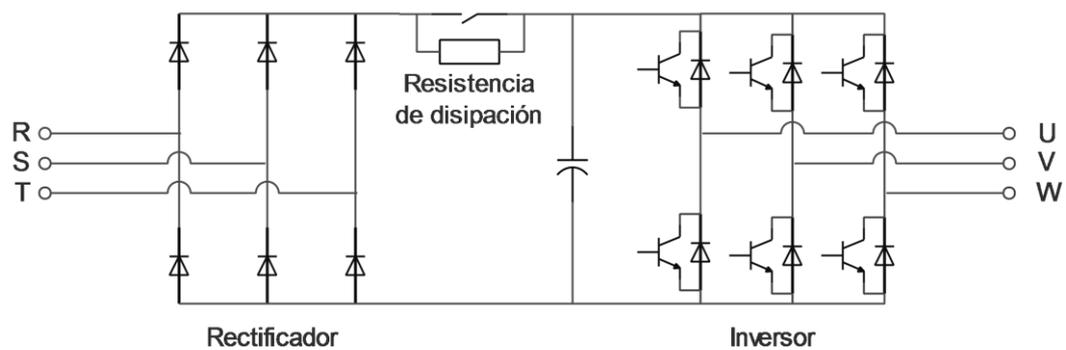


Imagen 18. Etapas de la electrónica del controlador del variador.

El proceso de conmutación de los transistores es llamado modulación por ancho de pulso o PWM (Pulse Width Modulation).

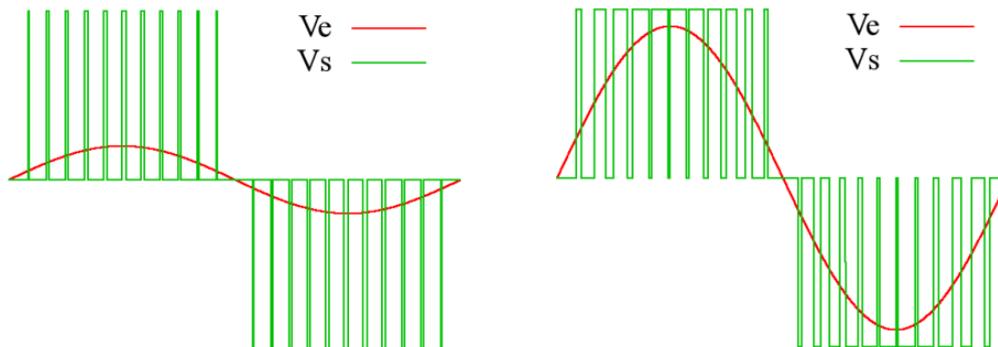


Imagen 19. Modulación por ancho de pulso o PWM. [Recurso: Wikipedia]

De esta forma, variando la frecuencia de onda y no limitando la tensión, se consigue variar la velocidad de giro del motor sin perder su par.

Este variador es no regenerativo, esto significa que no puede volcar energía a la red eléctrica ya que la energía no puede fluir al revés de la etapa rectificadora de entrada formada a base de diodos. Como esta energía no puede volcarla a la red debe disiparla, para ello se emplea la resistencia de disipación como se observa en la imagen del circuito electrónico del variador.

3.4. Comparación entre arrancador y variador de frecuencia

Las principales diferencias entre estos dos dispositivos se describen a continuación:

Control de velocidad

- Arrancador suave: Controlan la velocidad únicamente en el momento de arranque y de paro del motor.
- Variador: Los variadores ofrecen velocidad continua y totalmente ajustable en cualquier momento.

Par pleno a velocidad 0

- Arrancador suave: Los arrancadores suaves funcionan a frecuencia fija y el par pleno está disponible solo a voltaje pleno.
- Variador: En aplicaciones de variadores, el 100% del par se encuentra disponible hasta la frecuencia de línea a la velocidad base. Por encima de la velocidad base del motor, la potencia es del 100% y el par disminuye.

Calor generado por el arrancador suave o el variador

- Arrancador suave: En un arrancador suave con derivación integrada, la corriente circula a través del contactor, por lo que no hay componentes de estado sólido encendidos que puedan generar más calor.
- Variador: Cuando está en marcha, un variador se calienta más que el arrancador suave debido a que los componentes activos controlan constantemente la frecuencia y el voltaje. Aunque es una propiedad que no afecta a la carga ni al control, es un factor a tener en cuenta a la hora de instalar un variador de frecuencias y la disipación de sus energías en forma de calor.

Con todo lo visto anteriormente, se determinan las aplicaciones más indicadas para el variador y para el arrancador:

Arrancador suave	Variador de frecuencia
Ambos reducen el desgaste mecánico y evitan daños al sistema	
Aplicaciones de carga ligera	Aplicaciones de mayor carga
Bajo o medio par de arranque	Alto par de arranque
Control de corriente al arranque	Control de frecuencia
Sin ajuste de velocidad	Control y ajuste de velocidad
Permite motor como generador	No permite

La aplicación que se da al motor eléctrico del laboratorio no mueve una carga elevada y no necesita de un alto par de arranque, ya que solo hace girar al motor de combustión que lleva acoplado a su eje. Sin embargo, se requiere de un control y ajuste de velocidad para un arranque del motor de combustión en las condiciones y frecuencia de giro deseada.

Y es por ello, que finalmente se selecciona el variador como una mejor opción que garantiza un arranque más seguro y controlado.

3.5. Instalación inicial con arrancador

En la instalación, inicialmente, el método de arranque del motor eléctrico se llevaba a cabo con un arrancador suave de la marca “Power Electronics” y de la serie “V5”.

Estos arrancadores poseen una pantalla a través de la cual se puede configurar, entre otras cosas:

- Los tiempos de arranque y parada del motor.
- Seleccionar los modos de arranque y parada.
- Las señales de entradas y de salidas junto con su función.
- Configurar la opción By-Pass.

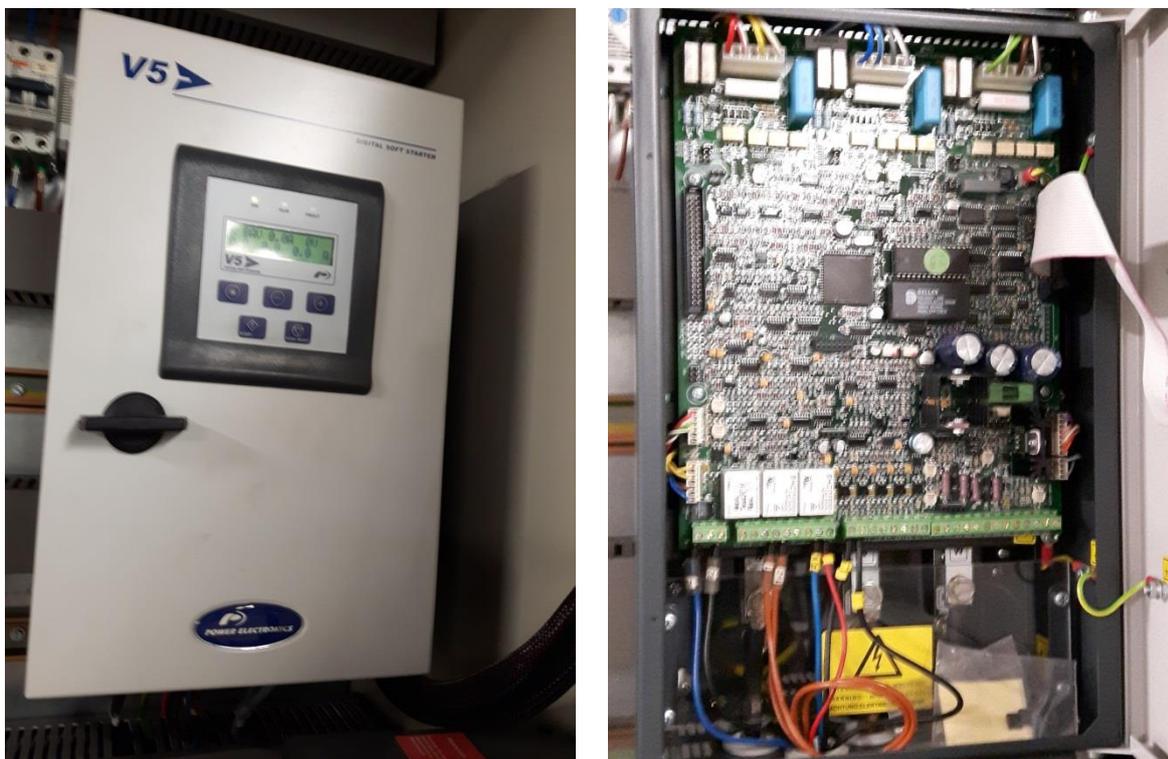


Imagen 20. Arrancador suave de Power Electronics montado en el cuadro de potencia.

El modelo empleado en la instalación posee las siguientes especificaciones técnicas:

Fabricante	Power Electronics
Serie	V5
Referencia	V50060
Corriente	60 A
Potencia a 230V	18 kW
Potencia a 400V	30 kW

Éste arrancador controla las tres fases mediante semiconductores, proporcionando un óptimo control de arranque suave.

Posee señales de entrada y de salida que permiten controlar y conocer el estado del dispositivo. Para controlar el arranque o parada del motor se envía una señal al pin de entrada de marcha/paro y para detectar un posible defecto del arrancador se pasa el canal de seguridad (necesario para el funcionamiento de la instalación) por los pines de defecto general, para que en caso de un fallo la instalación se detenga.

Además, este arrancador da una señal de salida para la posibilidad de una conexión externa de by-pass, esta salida se activa al finalizar el arranque y se lleva a una bobina o relé, como se muestra a continuación.

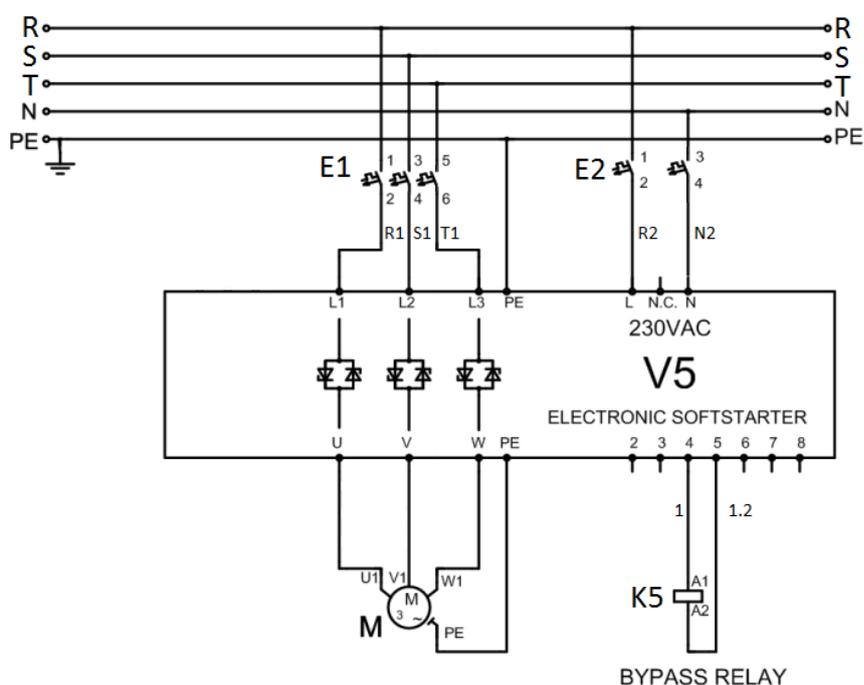


Imagen 21. Conexión de arrancador con el relé By-Pass. [Recurso: Power Electronic]

Esta salida by-pass se emplea para la corrección del factor de potencia, lo que conlleva un ahorro de energía. Una vez que el motor haya arrancado, es decir, al finalizar la rampa de arranque, la salida by-pass acciona el contacto que conecta un banco de condensadores a la red.



Imagen 22. Banco de condensadores para la corrección del factor de potencia.

Este tipo de corrección se denomina corrección del factor de potencia distribuida, que se realiza conectando el banco de condensadores directamente a los terminales del dispositivo que necesita la potencia reactiva. La instalación es sencilla y poco costosa. Aconsejable para la corrección en grandes aparatos con carga y factor de potencia constantes con tiempos de conexión prolongados, ideal para el motor eléctrico de la instalación.

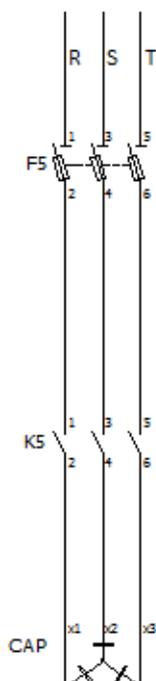


Imagen 23. Contactos y condensador by-pass para la corrección del factor de potencia.

3.6. Instalación final con variador de frecuencia

El armario eléctrico se ha adaptado para la sustitución del arrancador suave por un variador de frecuencia. De tal forma que se obtienen las ventajas que conlleva el uso de un variador y además se conservan y adaptan las señales de entradas y salidas que empleaba el arrancador, que vimos en el apartado anterior, para las funciones y señales del variador.



Imagen 24. Variador montado en cuadro de potencia.

Con el arrancador instalado inicialmente se disponía de un control de defectos y con una entrada para controlar la marcha y el paro del motor. Estos controles se mantienen en el nuevo variador instalado.

La cadena de seguridad se pasa a través de sus pines de defecto general para que en caso de un fallo la instalación se detenga. Y la señal de marcha / paro, que es comandada por la unidad de control o PC, llega a uno de sus terminales de conexión.

Además de estas conexiones aparecen otras dos a mayores, una de ellas sirva para conectar una resistencia de frenado, la cual se encarga de la disipación del calor que se genera por el frenado del motor y por el control de frecuencia.



Imagen 25. Resistencia de frenado.

Y la otra conexión sirve para conectar un potenciómetro que permita el control y la selección de la velocidad del motor.

Con el empleo del variador de frecuencia también desaparece el contacto by-pass y el banco de condensadores, en este caso no se recomienda el uso de condensadores para corregir el factor de potencia, ya que el mismo equipo hace esa función; es decir, un motor operando con estos equipos muestra un factor de potencia alto, mayor a 0.95. La conexión de condensadores a un variador puede ocasionar serios daños debido a un disparo de sobrecorriente o al fenómeno de la resonancia.

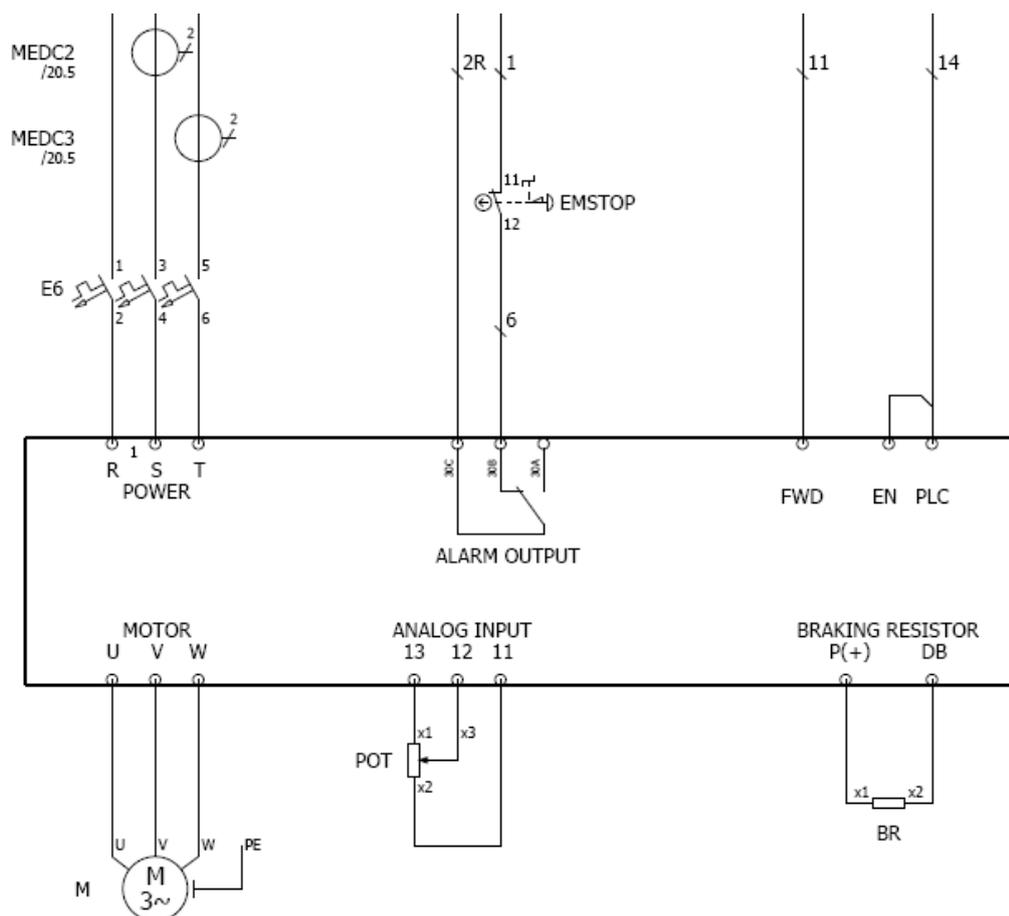


Imagen 26. Esquema y conexionado variador.

3.7. Configuración del variador de frecuencias

Para que el variador funcione como se desea es necesario configurarlo, ya que de fábrica lleva una configuración por la cual no obedece a la señal de marcha / paro que se introduce por uno de sus pines; ni tampoco se puede seleccionar la velocidad a través del potenciómetro, ya que en su configuración predeterminada sólo obedece a los comandos que se ejecutan desde el interfaz del variador mediante sus teclas.

Para acceder a las configuraciones se tiene que emplear esta interfaz para llegar a los menús, opciones o visualizaciones que se deseen. Por ello es necesario conocer la función de cada tecla y los diferentes menús.

El panel de control está formado por un indicador LED de siete segmentos, una pantalla LCD y diez botones. A continuación se muestra una imagen del interfaz con la indicación de cada elemento.

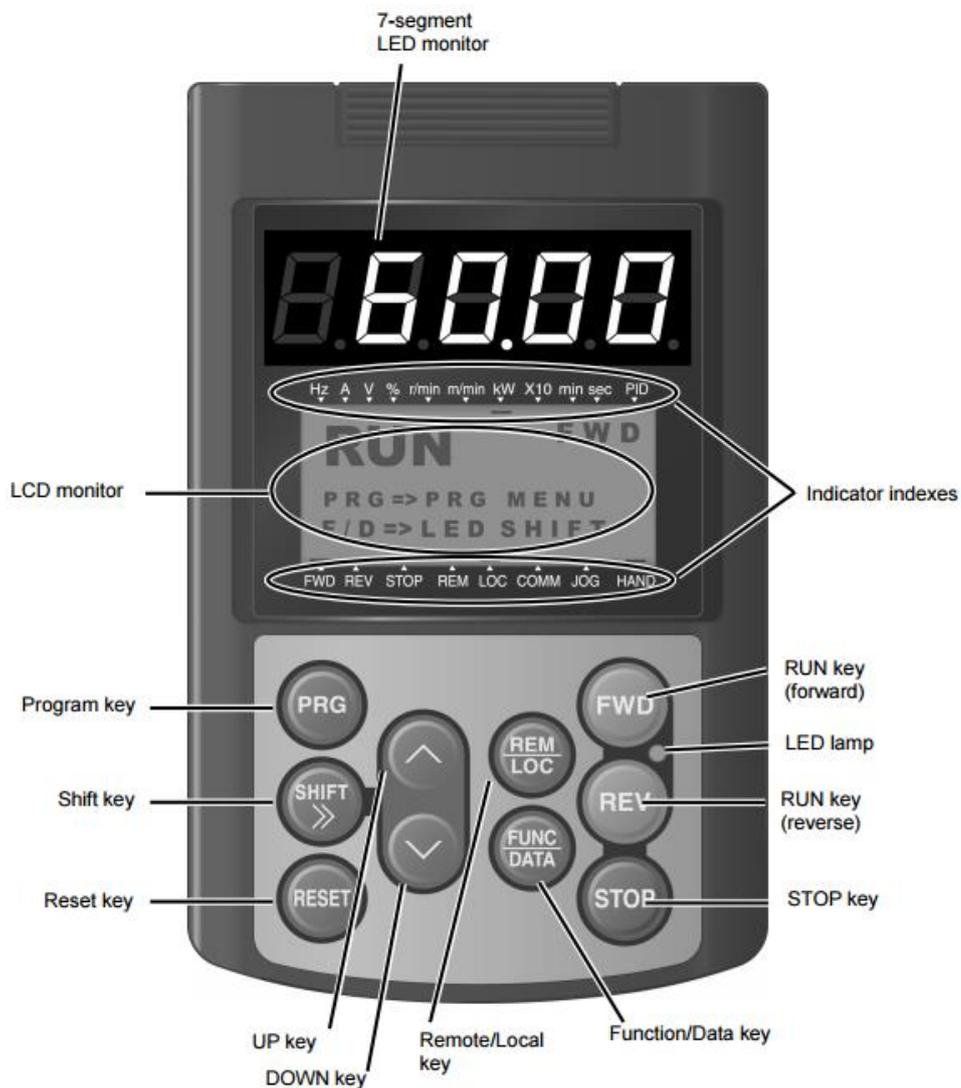


Imagen 27. Interfaz del variador con indicación de los elementos que lo forman. [Recurso: Fuji Electric]

Con el panel de control se puede arrancar y parar el motor, controlar el estado de funcionamiento y conmutar al modo de menús. En el modo de menús se puede ajustar los códigos de función, controlar el estado de las señales de E/S y leer las informaciones de mantenimiento y las indicaciones de fallo.

- **Explicación de los elementos principales del interfaz:**

- Pantalla LED de siete segmentos: Muestra información relevante sobre el estado del funcionamiento (frecuencia, corriente o tensión) o un código de alarma generado por algún defecto.
- Pantalla LCD: En modo de funcionamiento muestra información sobre el estado de la marcha. Y en el modo de programación muestra los menús, los códigos de función junto con sus valores.
- Botón PRG: Alterna entre los modos de funcionamiento y de programación.
- Botones UP y DOWN: Sirven para desplazarse por las diferentes opciones de los menús o para modificar un valor.
- Botón FUNC/DATA: En modo de funcionamiento, alterna entre mostrar frecuencia, corriente o tensión en la pantalla LED. En modo de programación sirve como ENTER, para acceder a un código de función y para aceptar el valor seleccionado.
- Botón FWD: Arranca el motor.
- Botón REV: Arranca el motor en sentido inverso.
- Botón STOP: Detiene el motor

A continuación se muestra como configurar el variador para que este comandado por la señal de marcha / paro y para controlar la frecuencia a través de un potenciómetro.

- **Comando de marcha y paro a través de señal.**

Se configura con el código de función F02, que puede tener los siguientes funcionamientos según su valor:

Valor F02	Funcionamiento de la marcha
0	El motor se controla con los botones FWD/REV/STOP
1	El motor es comandado mediante una señal externa
2	El motor se controla con los botones FWD/STOP
3	El motor se controla con los botones REV/STOP

El código de función debe establecerse a **F02=1**

Con esta configuración el estado del motor es comandado por la señal que llega a su pin FWD, de tal forma que si la señal está a uno el motor se pone en funcionamiento y si esta en cero se detiene. Mientras que los botones del panel son ignorados.

- **Selección de frecuencia a través del potenciómetro.**

Se configura con el código de función F01, que puede tener los siguientes funcionamientos según su valor:

Valor F01	Ajuste de frecuencia
0	La frecuencia se ajusta con los botones UP y DOWN
1	La frecuencia se ajusta mediante la tensión de entrada al pin 12 al que se conecta un potenciómetro
2	La frecuencia se ajusta mediante la corriente de entrada al pin C1
3	La frecuencia se ajusta con la suma de las señales de entrada de tensión y corriente.

El código de función debe establecerse a **F01=1**

4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

4.1. Cuadros eléctricos

La instalación eléctrica esta principalmente dividida en tres cuadros eléctricos, estos son:

1. Cuadro de sala
2. Cuadro de potencia
3. Cuadro de mando

En el plano de la sala de ensayo se muestran los tres cuadros eléctricos representados de color amarillo.

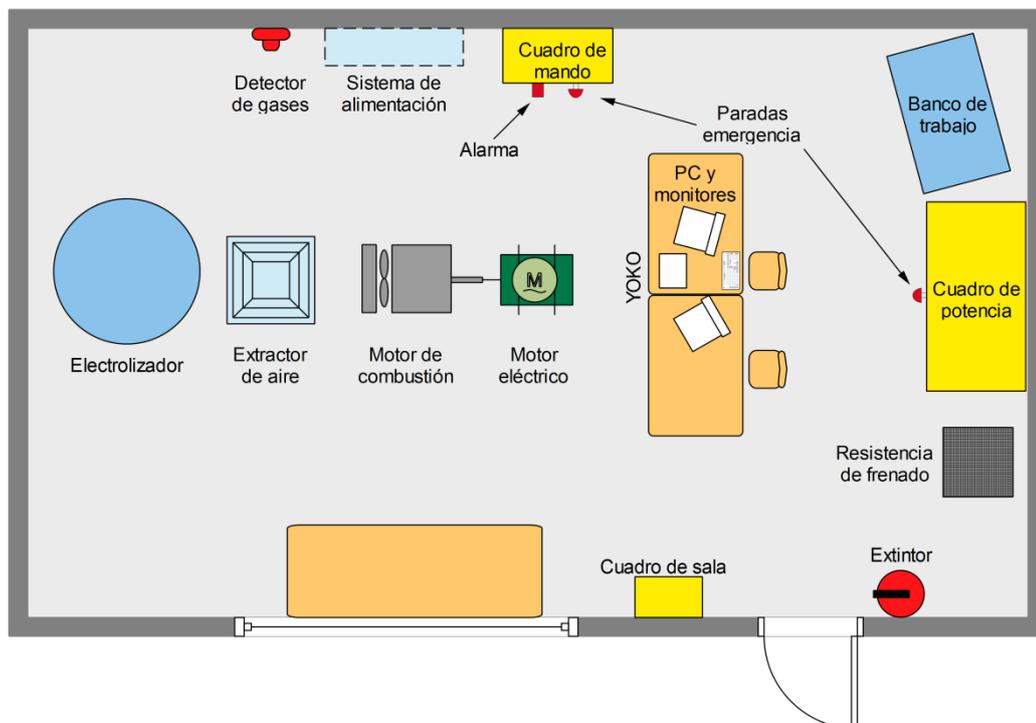


Imagen 28. Plano de la sala de ensayo.

Cada uno de estos cuadros eléctricos tiene unas características y unas funciones que se describen a continuación:

4.1.1. Cuadro de sala.

Formada por dos envolventes pequeñas, ambas alimentadas con una tensión trifásica de 380V.



Imagen 29. Implantación exterior del cuadro de sala.

La primera caja posee las protecciones eléctricas por las que pasa la tensión para el extractor, el alumbrado y las tomas de corriente de la sala. Mientras que la segunda contiene el control marcha / paro del extractor. En su implantación exterior se encuentran dos botones: el verde para la marcha y el rojo para el paro; y un piloto luminoso rojo que indica que el extractor está en marcha.

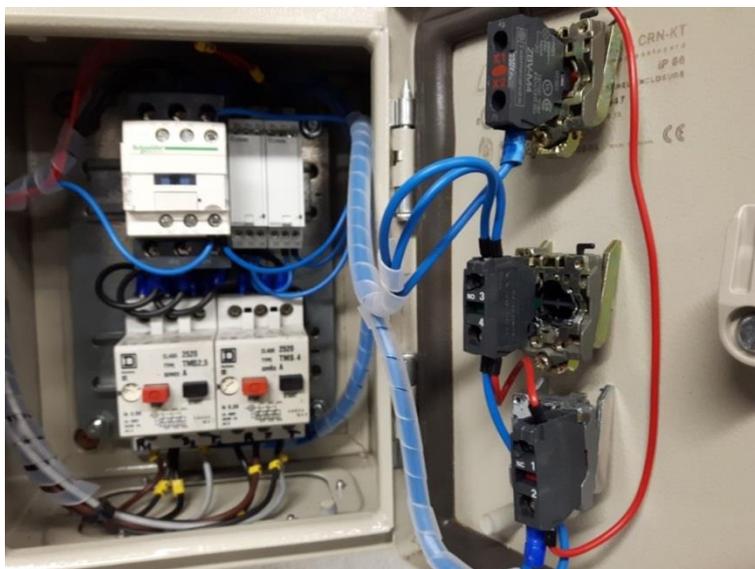


Imagen 30. Implantación interior del cuadro de sala.

4.1.2. Cuadro de potencia

Este armario eléctrico es alimentado con una tensión trifásica de 380V y es el encargado de suministrar toda la potencia necesaria para el arranque y funcionamiento del motor eléctrico.



Imagen 31. Implantación exterior e interior del cuadro de potencia.

Este armario posee las principales protecciones de la instalación ya que es el que tiene una mayor tensión de alimentación de 400V y el mayor consumo debido a la carga del motor eléctrico que alimenta. Los principales dispositivos que se encuentran en este armario son el variador, que controla el arranque y la velocidad del motor y que ya se ha visto en detalle en un apartado anterior; un relé de protección ante fallos en la frecuencia o tensión de alimentación, este cortaría la alimentación al variador y al motor en caso de detectar un fallo; y una central de medida que muestra información sobre el consumo eléctrico del cuadro.

En la implantación exterior se pueden observar las pantallas de los elementos ya citados, el relé de protección y la central de medida. También posee una parada de emergencia que detiene la instalación y el potenciómetro que se ha añadido con la nueva instalación del variador.

4.1.3. Cuadro de mando

Es un cuadro que contiene tensión monofásica de 220V y tensión continua de 24V para alimentar los módulos de entradas y salidas.



Imagen 32. Implantación exterior e interior del cuadro de mando.

Este cuadro contiene el tratamiento de señales y de información que envía y recibe la unidad de control o PC. Como se observa en la implantación interior los cuatro módulos inferiores son los encargados de gestionar las señales de entrada, de salida, y las medidas analógicas de los sensores de presión y temperatura del motor.

En la implantación exterior se observa un selector que pone en tensión el cuadro, una luz de alarma, una parada de emergencia que detiene la instalación y siete pilotos luminosos que indican el estado del cuadro y del motor.

Los dos pilotos de color verde indican la presencia de alimentación en el cuadro, de 220V y 24V respectivamente. Y los pilotos de color rojo indican información sobre el control del motor: el inferior indica que se ha dado contacto al motor y los cuatro superiores informan sobre el producto con el que se está alimentando al motor.

4.2. Distribución de potencias

El cuadro de potencia es el que mayor consumo va a generar debido a los componentes que alimenta, ya que es el cuadro que más elementos contiene y ellos están destinados a controlar y arrancar el motor eléctrico.

Por ello es importante crear una clara distribución de potencias en este armario, en la que se vayan generando ramas para cada componente o grupo de componentes con sus protecciones correspondientes.

El armario de potencia es alimentado a partir de una red de tensión trifásica de 380V. Como se puede observar en el esquema, está formada por: las tres fases, un neutro y una tierra (3F + N + PE).

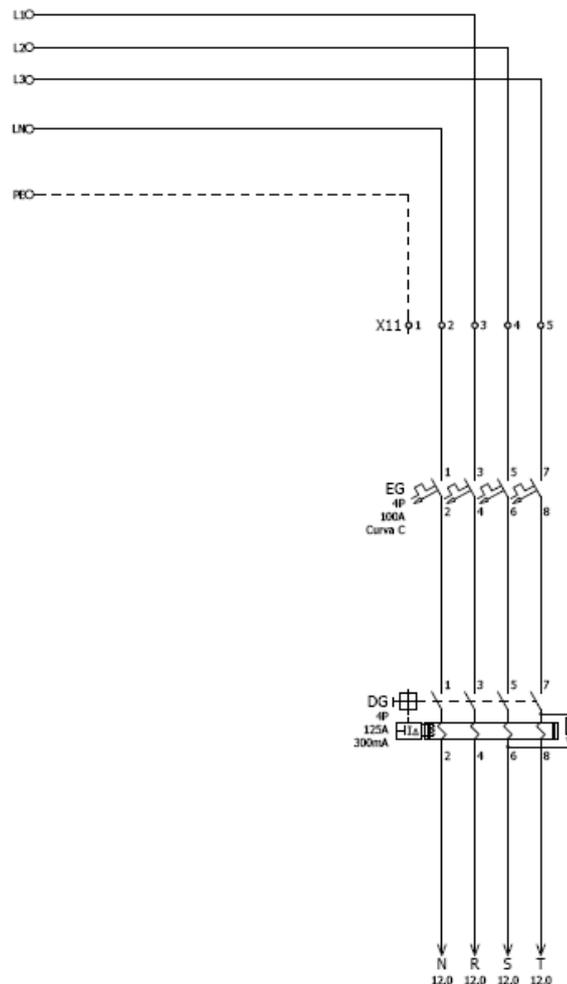


Imagen 33. Alimentación general.

Está rama principal que llega al armario lleva unas protecciones generales para todo el cuadro. Estas protecciones son:

El magnetotérmico “EG” de 4 polos y 100A, esta corriente se calcula a partir del consumo total de todos los componentes del armario, la intensidad será alta al ser este un circuito de potencia que alimenta un motor trifásico. Aunque su intensidad de disparo se encuentra sobredimensionada debido a que inicialmente el motor eléctrico que se iba a instalar era de mayor potencia, sigue siendo un valor admisible para la protección de la instalación eléctrica ante posibles cortocircuitos, además de que el propio variador corta la alimentación del motor al detectar una sobreintensidad.

Y el diferencial “DG” de 4 polos y 300mA, la corriente de disparo es también superior a la de los diferenciales más comunes de 30mA, esto se debe a que al trabajar con alta corriente y alimentar un motor, una menor corriente sería demasiado sensible para este circuito que le haría actuar o dispararse cuando no debe.

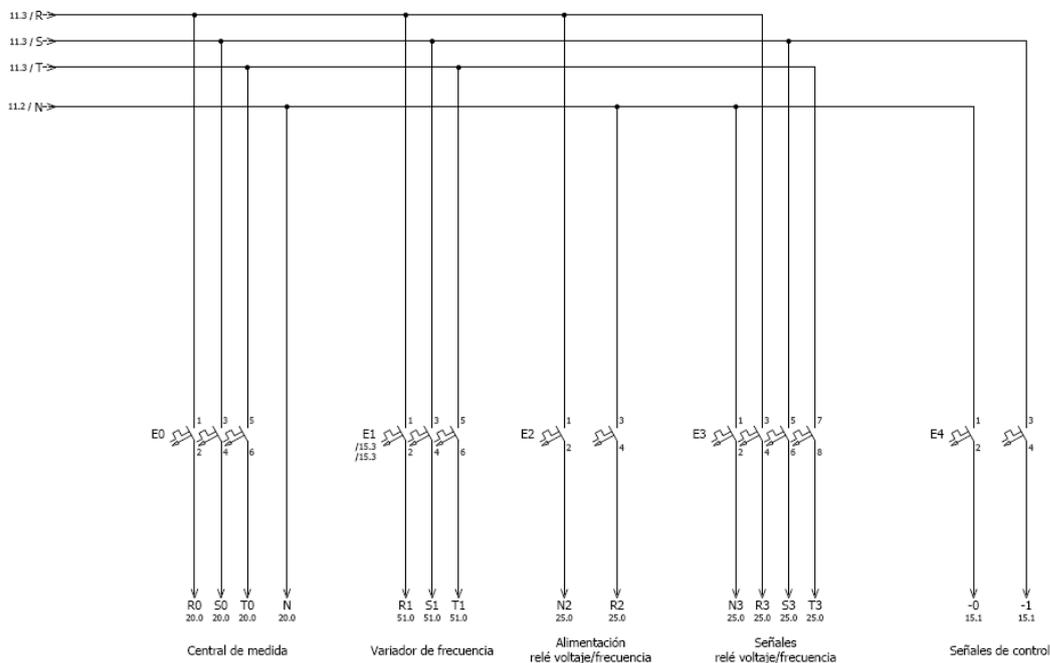


Imagen 34. Distribución de potencia.

De esa alimentación general se distribuyen el resto de ramas, alimentándose cada elemento con ramas independientes y con las protecciones que se adecuen a sus consumos.

Estas ramas se seleccionan en función del tipo de componentes, su fiabilidad, su precio y su consumo. Pudiéndose agrupar varios elementos en una misma rama e incluso componentes sin protección. En este caso dado que todos los componentes son para utilidades especiales y por lo tanto de precio elevado, se decide proteger a cada elemento en ramas independientes.

4.3. Modificaciones realizadas

Como ya se ha visto en el apartado de control del motor eléctrico, la modificación que se ha llevado a cabo en los cuadros eléctricos es la eliminación del arrancador que estaba instalado inicialmente para la nueva implantación de un variador de potencia.

La eliminación del arrancador también conlleva la eliminación del contacto by-pass y del banco de condensadores ya que con el variador no es necesaria esta corrección del factor de potencia.

Mientras que se conserva la rama de alimentación, las señales de marcha / paro y de control de defectos empleados en el arrancador para su nuevo uso en el variador.

4.4. Sinóptico de red

La unidad de control o PC es la encargada de gestionar los ensayos, por ello debe comunicarse con el resto de periféricos que componen la instalación para el control y la lectura de datos.

El PC actúa como maestro en las comunicaciones a través de su bus serial, el módulo ADAM (servidor dispositivo serial) actúa como interfaz entre la comunicación serial y la red RS-485.

El osciloscopio YOKO lee información del motor y dispara la señal para el encendido del motor; los módulos de entradas y salidas leen o escriben sobre las señales eléctricas directas que tienen por el cableado; y los controladores de caudal realizan la lectura y el control de los flujos máxicos de alimentación del motor. Obteniendo así en la unidad de control toda la información necesaria de presiones y temperaturas, y permitiendo el control del motor de combustión.

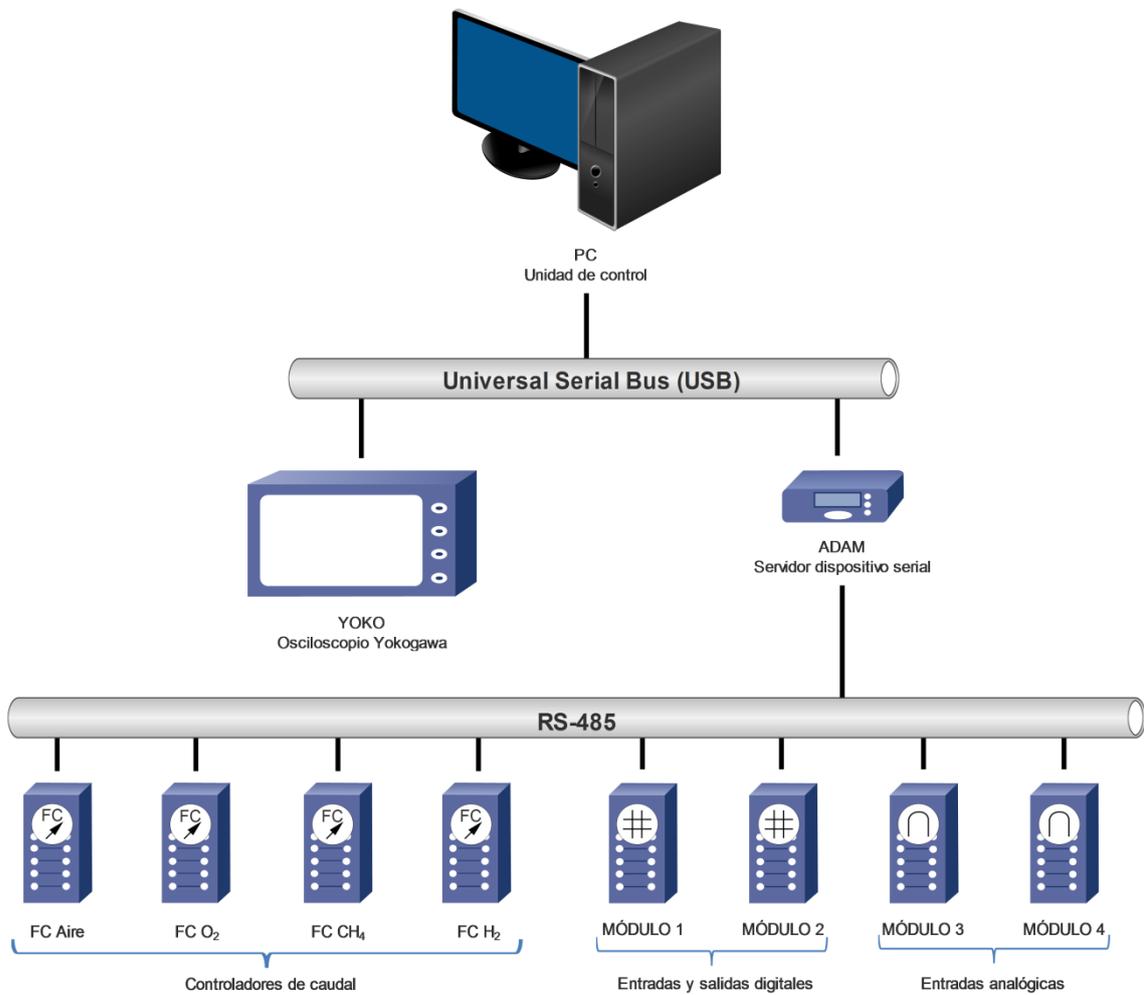


Imagen 35. Sinóptico de la red de comunicaciones de la instalación.

5. PROGRAMACIÓN

La aplicación para el control y monitorización del motor de combustión se realiza mediante el software de LabView, una plataforma y entorno de desarrollo de sistemas basada en programación visual y flujos de datos, que permite crear un interfaz hombre-máquina (HMI) entre el usuario y el motor.

La programación en LabView se basa en la generación de rutinas, que son ficheros con formato “.vi”.

Como la aplicación que se va a realizar lleva una gran cantidad de rutinas, incluye librerías y la generación de un ejecutable, es decir, contiene un gran número de ficheros y funciones; se crea un proyecto en el cual se van incluyendo todas las rutinas que se crean y las librerías que sean necesarias.

Con esto se consigue un programa más ordenado, entendible y limpio, donde cada rutina realiza una tarea o función en específico.

5.1. Configuración comunicaciones.

Para hacer posible la comunicación entre el ordenador y los dispositivos que envían y reciben información del motor es necesario configurar estos dispositivos en la unidad de control o PC.

Para ello se cuenta con un software de National Instruments denominado NI MAX, que reconoce los dispositivos conectados al ordenador y permite su configuración e identificación en la red.

Se configuran los dos dispositivos conectados a los puertos seriales del ordenador mediante conexión USB. Estos son el osciloscopio Yokogawa y el módulo ADAM.

- **Osciloscopio Yokogawa.**

Este osciloscopio, de la marca Yokogawa y modelo DL750, realiza varias funciones, una de ellas es la representación en su pantalla de la señal de chispa y la presión de la cámara de combustión del motor, en la imagen se puede apreciar el disparo de la chispa (señal cuadrada) y el aumento de la presión que se produce en la cámara de combustión.

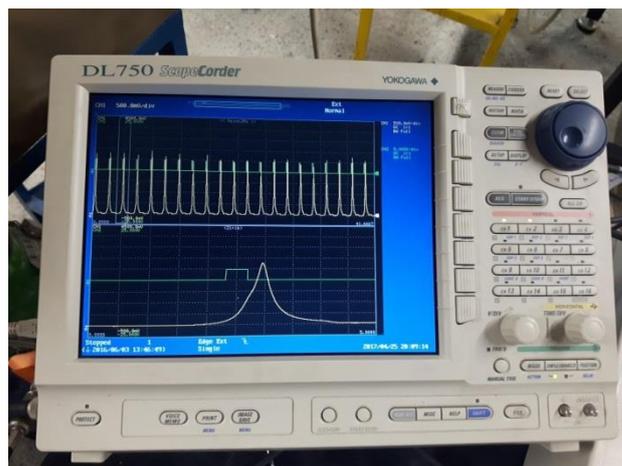


Imagen 36. Osciloscopio Yokogawa con las lecturas de un ensayo.

Otra función que realiza es la de comunicar a la unidad de control o PC la información sobre la fase y el ángulo de giro en el que se encuentra el motor, de esta forma se conoce en cada momento la etapa del motor y permite sincronizar la recogida de datos dentro del ciclo y del instante que les corresponde.

Y otra opción que facilita el osciloscopio es la de grabar datos de un ensayo, para un posterior uso o retrasmisión de estos. Esto será útil para el modo de pruebas que se ha implementado en el software.

Para configurarlo se conecta el USB al puerto del ordenador, se ejecuta el software NI MAX y éste lo reconoce. Se accede al apartado de dispositivos e interfaces y se reconoce como el modelo del osciloscopio "DL750", se accede a su configuración y se le da una denominación dentro de la red, en este caso "YOKO" y así será reconocido dentro del programa de LabView.

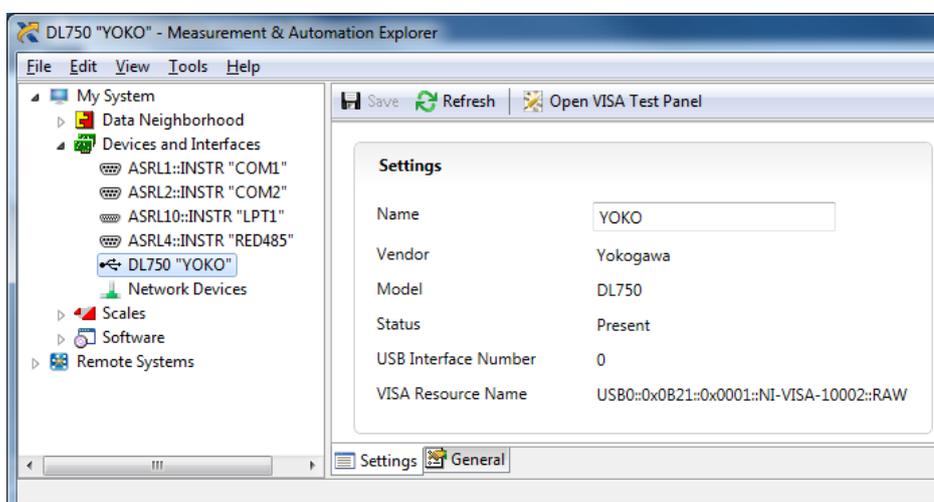


Imagen 37. Configuración del osciloscopio Yokogawa a través de NI MAX.

- **Módulo ADAM**

Este dispositivo es el encargado de actuar como interfaz entre la red RS-485 y la comunicación serial del ordenador. De la red RS-485 se recibe y se envía las entradas y salidas de los cuatro módulos que se encuentran en el cuadro de mando.



Imagen 38. Módulo ADAM, interfaz entre la red RS485 y la red serie. [Recurso: Advantech]

Los módulos uno y dos constan de las entradas y salidas digitales para el control de los pilotos, de la alimentación del motor, de la activación del contacto, etc. Mientras que los otros dos módulos son entradas analógicas, el módulo tres recibe la señal de los sensores de presión y el cuatro la señal de los sensores de temperatura.



Imagen 39. Módulos de entradas y salidas en la red RS285.

Para configurar el módulo ADAM se realiza de la misma forma desde NI MAX, en su configuración se le da la denominación “RED485” y se especifica los parámetros de la comunicación: 9600 bauds, 8 bits de datos, sin bit de paridad, un bit de parada y sin control de flujo.

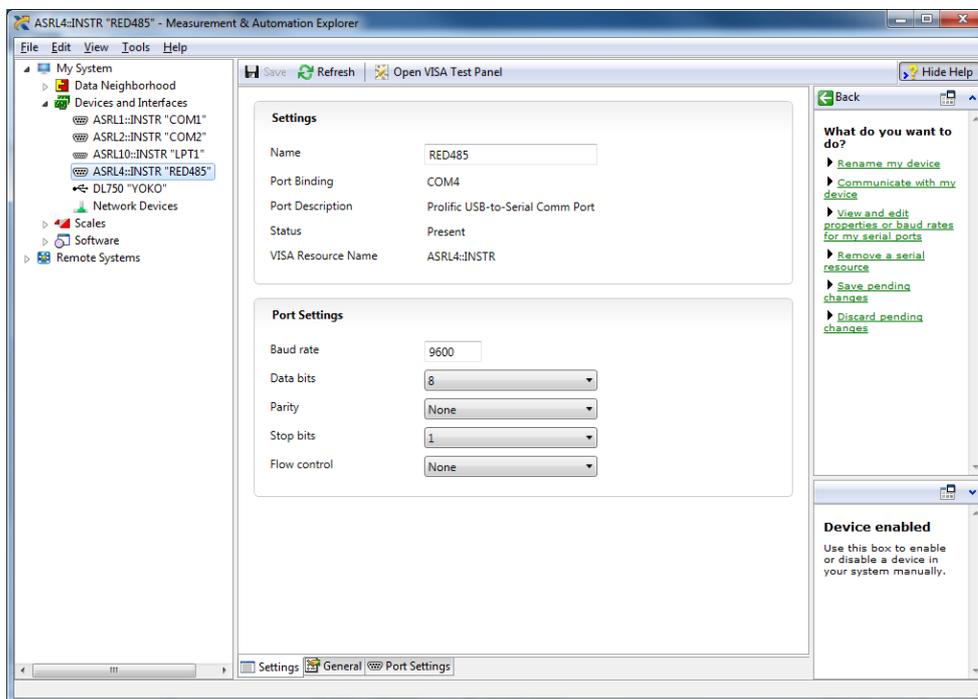


Imagen 40. Configuración del módulo ADAM a través de NI MAX.

5.2. Funciones añadidas

5.2.1. Gestión de ventanas

Se ha creado una nueva rutina cuya función es la de gestionar las diferentes ventanas del programa y su tamaño y posición con respecto a los monitores. Esta rutina lo que hace es leer la información del tamaño y resolución de los monitores conectados adaptando las ventanas a estos de forma automática.

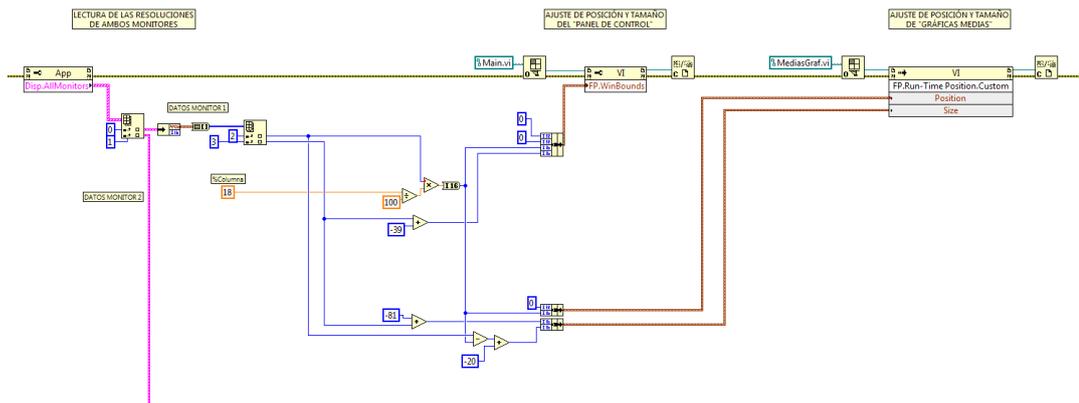


Imagen 41. Programación de la gestión del tamaño y posición ventanas.

Una vez que se tiene ajustado el tamaño y posición de todas las ventanas, se programa la gestión de los botones para la apertura y cierre de estas ventanas. Para la gestión de ventanas se tienen tres botones.



Imagen 42. Botones para la apertura y cierre de las ventanas.

Con el botón de “graficar medias” se cierra o se abre la ventana del monitor de la derecha que representa gráficamente las lecturas de los sensores de presión y temperatura que llegan del motor a través de los módulos de E/S.

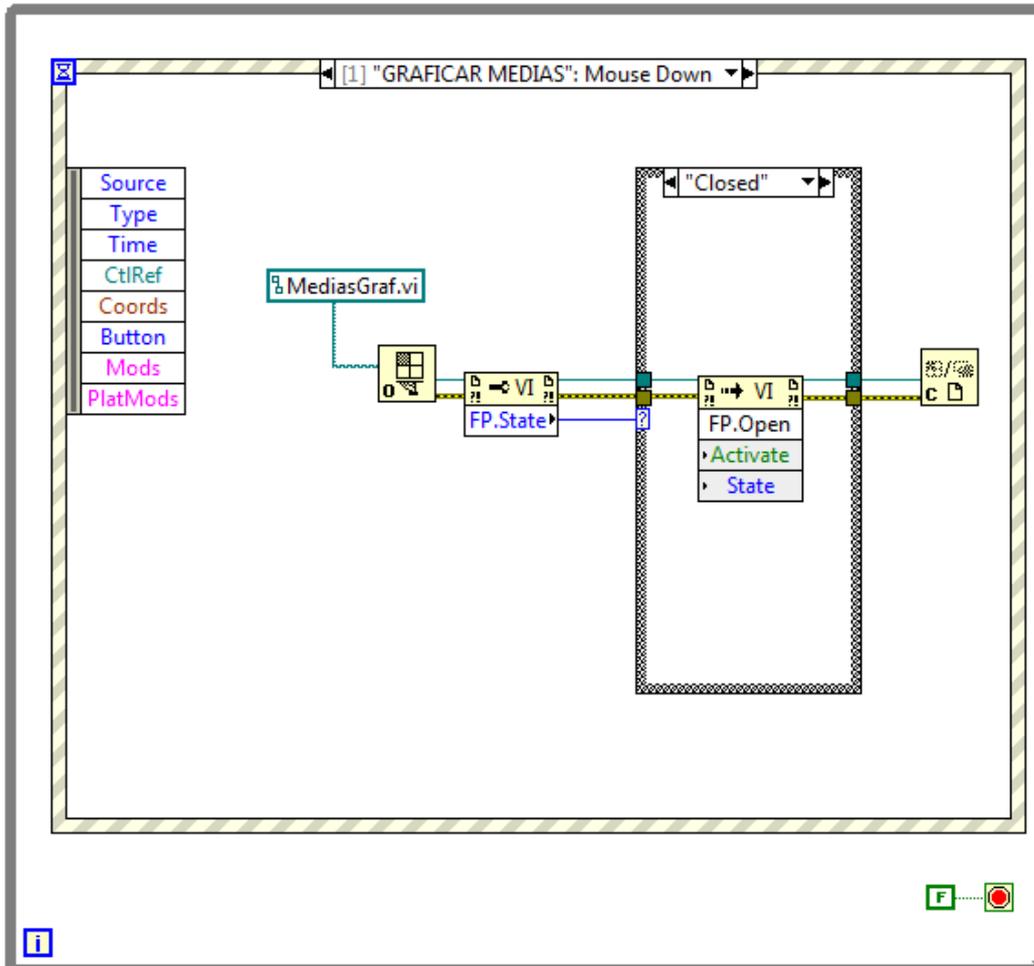


Imagen 43. Programación del botón para apertura y cierre de la ventana del monitor derecho.

Con el botón de “medida presión” se abren todas las ventanas del monitor izquierdo donde aparecen nuevas opciones y gráficos sobre presiones y cálculos del motor.

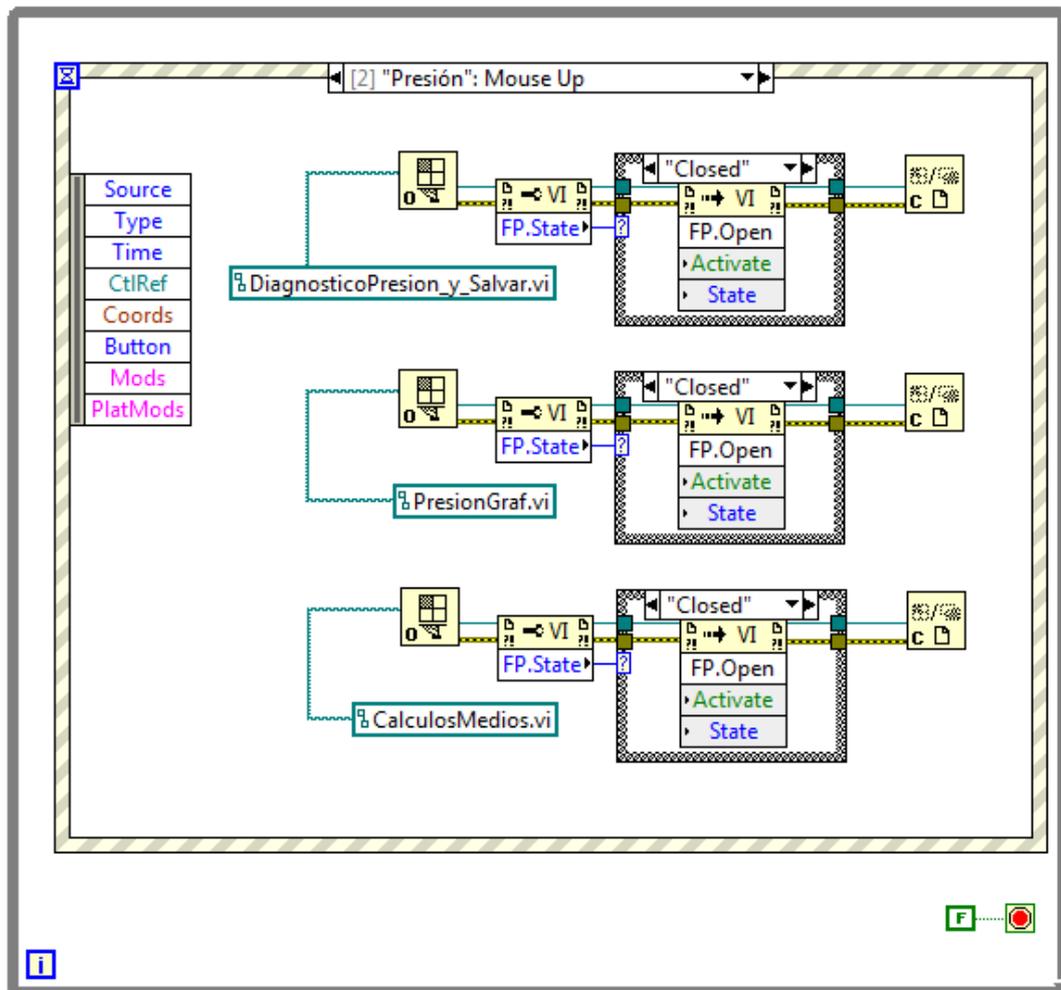


Imagen 44. Programación del botón para apertura y cierre de las ventanas del monitor izquierdo.

Con el botón de “cerrar todo”, se cierran todas las ventanas de la aplicación, incluido el menú principal o rutina “Main.vi” y se detiene el programa.

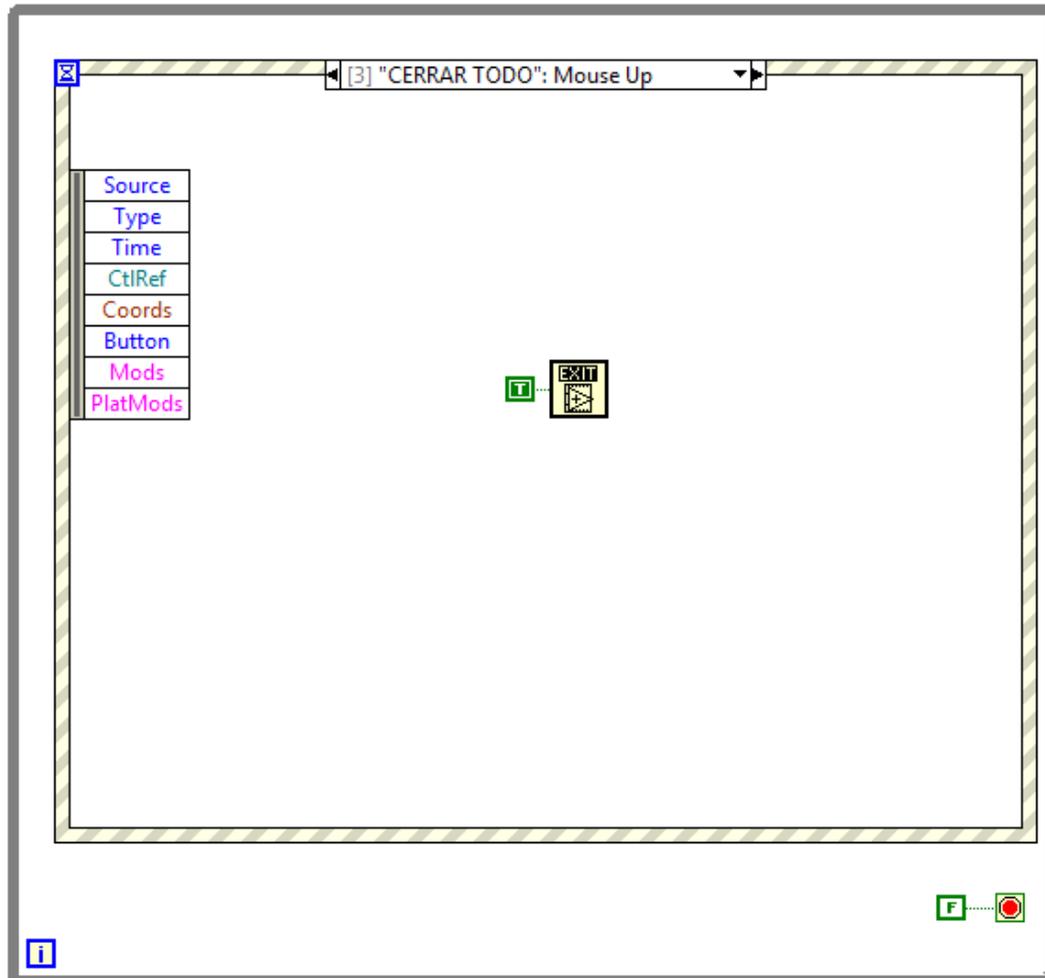


Imagen 45. Programación del botón para cerrar la aplicación.

5.2.2. Representación gráfica de datos

Para una mejor presentación de los datos del motor, estos se representan en unas gráficas junto a sus valores y unidades. Al ser una gran cantidad de datos, presiones y temperaturas, se representan en dos gráficas separadas.

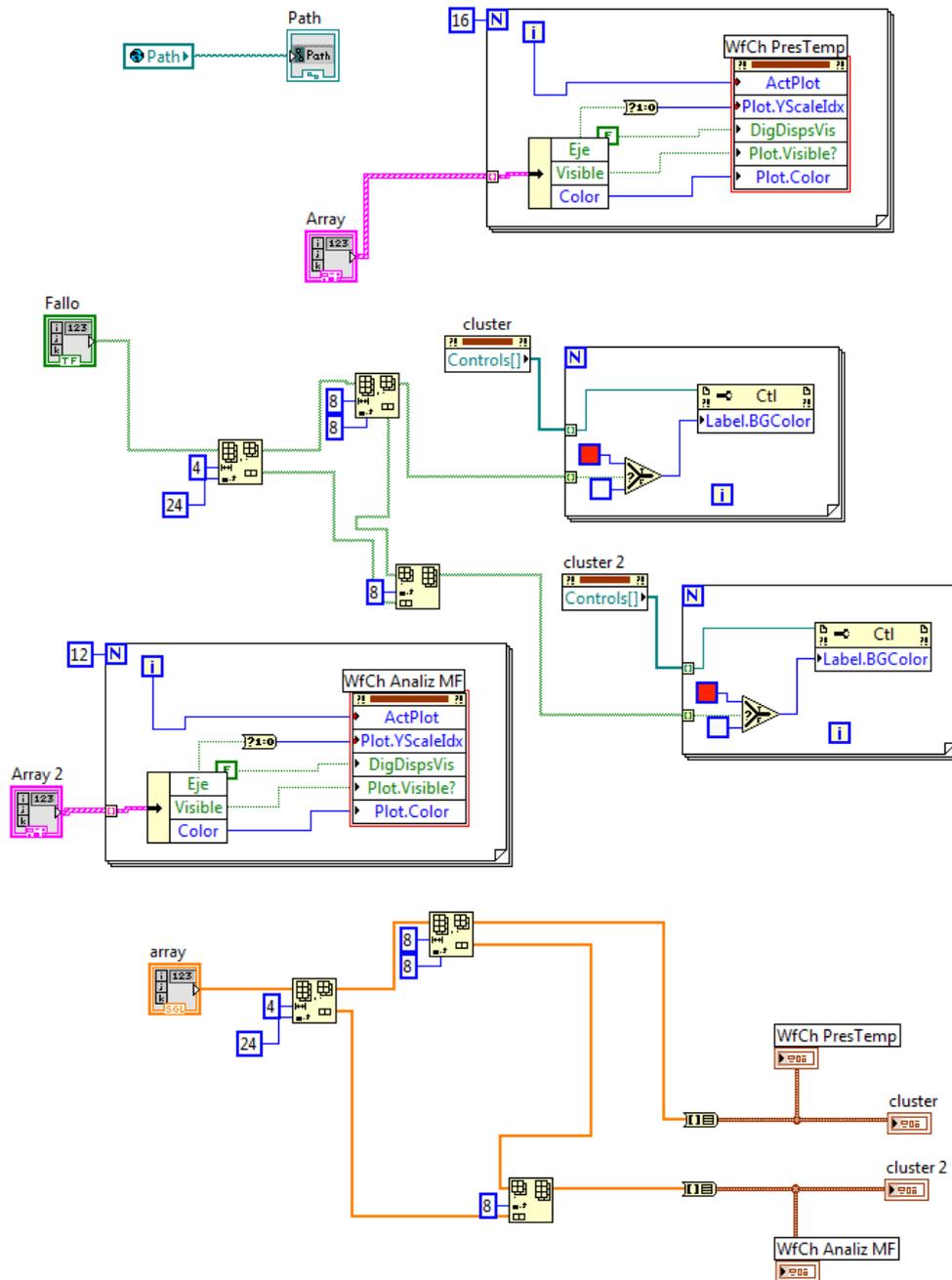


Imagen 46. Gestión de la representación gráfica de los datos del motor.

A cada variable se la puede personalizar si esta visible u oculta en las gráficas, el color con la que se la representa y en cuál de las dos gráficas aparece. De esta forma se pueden ver, comparar y analizar los datos que interesen representando sólo éstos o agrupándolos por gráficas según se desee.

5.2.3. Generación de ficheros

La generación de ficheros sirve para grabar los datos de los ensayos y poder realizar análisis o representaciones de estos datos, o para poder comparar con los datos obtenidos en otro ensayo y comprobar así las diferencias que tenemos ante diferentes parámetros del motor.

La creación de ficheros se realiza en el directorio que selecciona el usuario, por defecto esta seleccionada una carpeta creada para ello en el ordenador de la sala de ensayos.

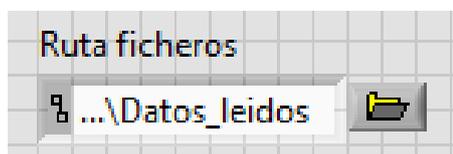


Imagen 47. Selector de la ruta para la generación de ficheros.

Al existir varios tipos de ficheros, cada uno se nombra en función de los datos que recoge y todos ellos llevan incluida la fecha y hora en el nombre, para saber y diferenciar mejor a que ensayo corresponde cada fichero.

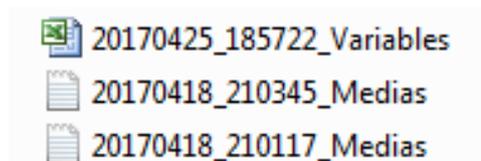


Imagen 48. Formato de los ficheros generados.

Para la creación de los ficheros primero se calculan o gestionan los datos a escribir. Para ello primero se resetea las variables que van a contener los nuevos datos.

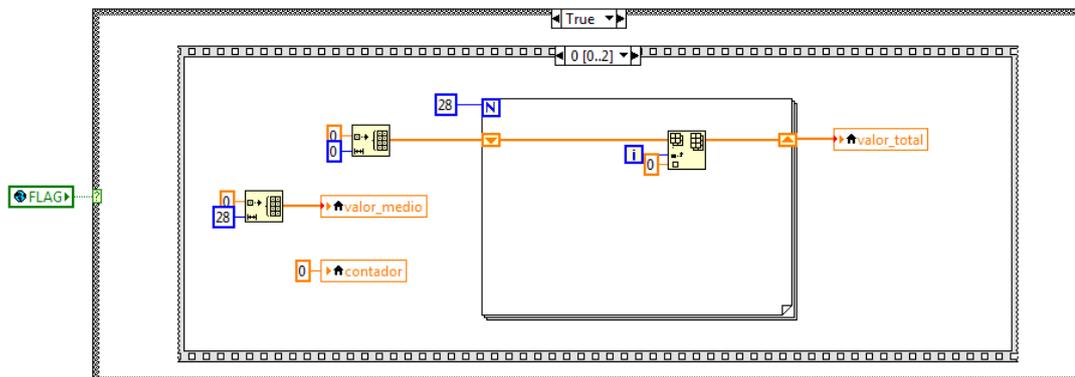


Imagen 49. Reseteo de las variables para la escritura de nuevos datos.

Después se gestionan los datos que se van a escribir, en el caso de la opción de salvar línea del fichero “variables” se escriben los datos de ese instante determinado directamente; en cambio en el caso de salvar medias del fichero “medias” deben recogerse todas las medidas de un intervalo y hacer la media de ellas.

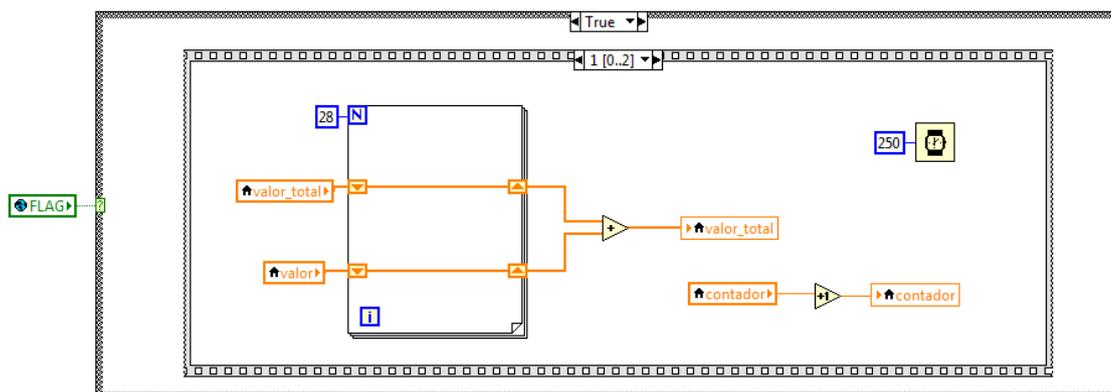


Imagen 50. Sumatorio de los datos leídos.

Se realiza un sumatorio de las lecturas de cada dato, para que al finalizar al grabación del intervalo se calcule la media.

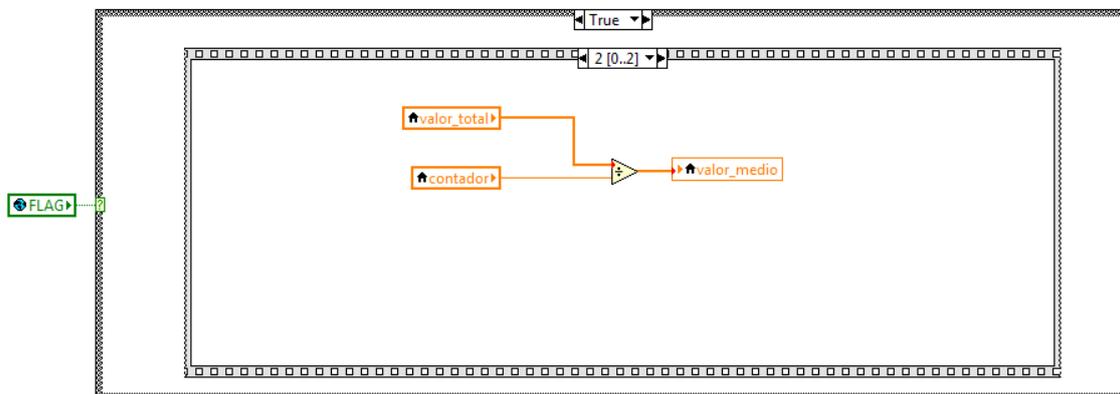


Imagen 51. Cálculo del valor medio de los datos.

Una vez calculados los datos ya se genera y se escribe el fichero. Utilizando para ello el directorio seleccionado y con el formato “%y%m%d_%H%M%S_Medias.txt” para que su denominación indique el momento en el que se realizó la grabación del ensayo.

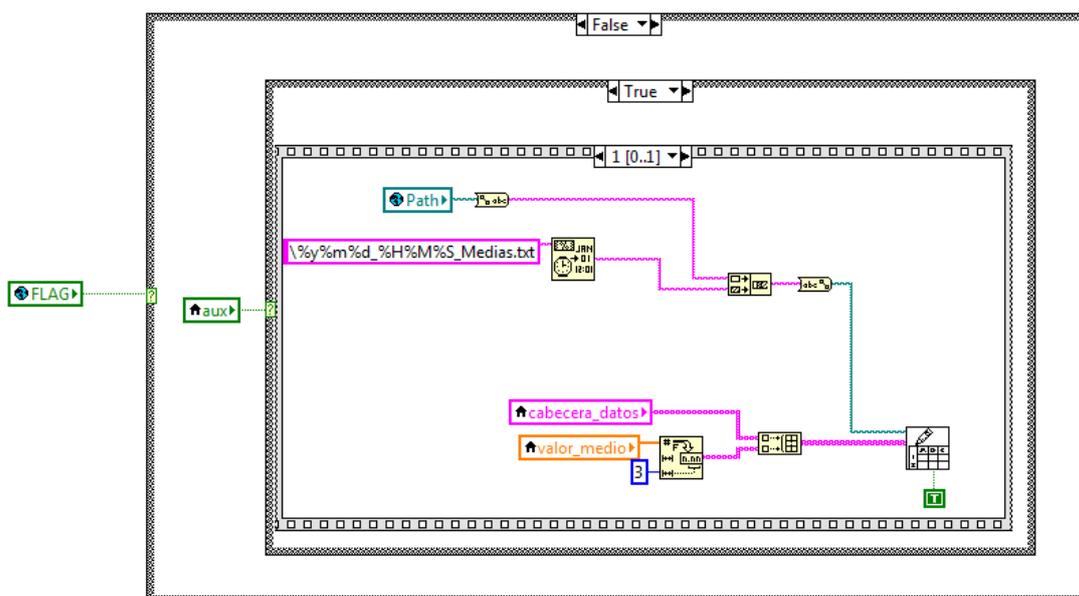


Imagen 52. Creación y escritura del fichero "medias".

5.2.4. Modo de pruebas

Se ha incluido un modo de pruebas, este modo sirve para poder ejecutar y programar la aplicación sin necesidad de tener conectada y en marcha la instalación y el motor. De esta manera la aplicación se puede ejecutar sin tener los puertos conectados y sin que reporte errores al intentar comunicar con puertos no conectados.

Para que funcione este modo, se anulan las comunicaciones con el puerto ADAM y además se generan unos datos aleatorios, que simulan la entrada de datos por la comunicación, para poder seguir teniendo unos datos existentes que serán útiles para programar una representación, cálculo o generación de ficheros.

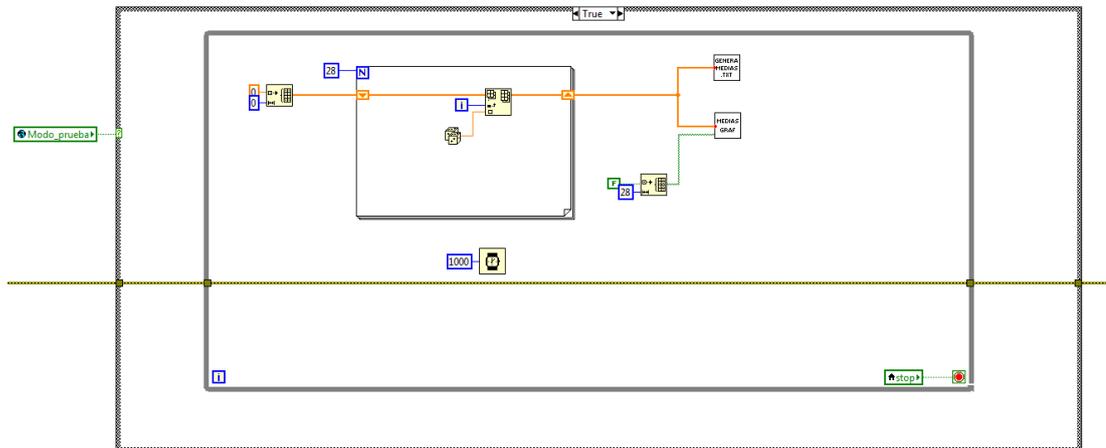


Imagen 53. Simulación de la comunicación con ADAM con datos aleatorios.

Además el osciloscopio tiene la opción de grabar datos de un ensayo, que pueden ser leídos en este modo pruebas como si se tratase de un ensayo real.

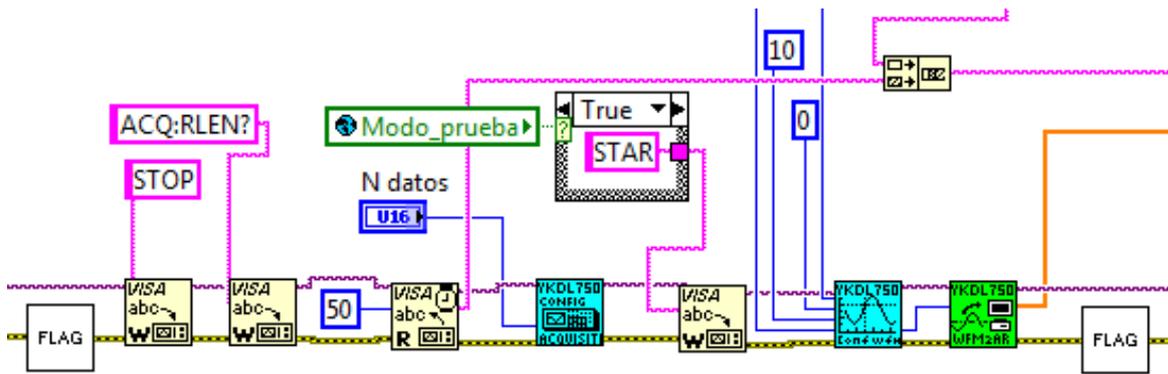


Imagen 54. Lectura de datos de un fichero grabado en el osciloscopio.

Para cargar el fichero de un ensayo en el osciloscopio se pulsa el botón “FILE”, aparecerán diferentes discos duros o unidades de memoria disponibles, con el mando giratorio te desplazas entre ellos y con el botón “SELECT” eliges el disco deseado, de esta forma se muestran todos los ficheros que están dentro del disco, se selecciona el fichero buscado y se presiona el botón “LOAD” para cargarlo, así ya aparece la lectura grabada por pantalla y el osciloscopio está listo para transmitir estos datos al ordenador.

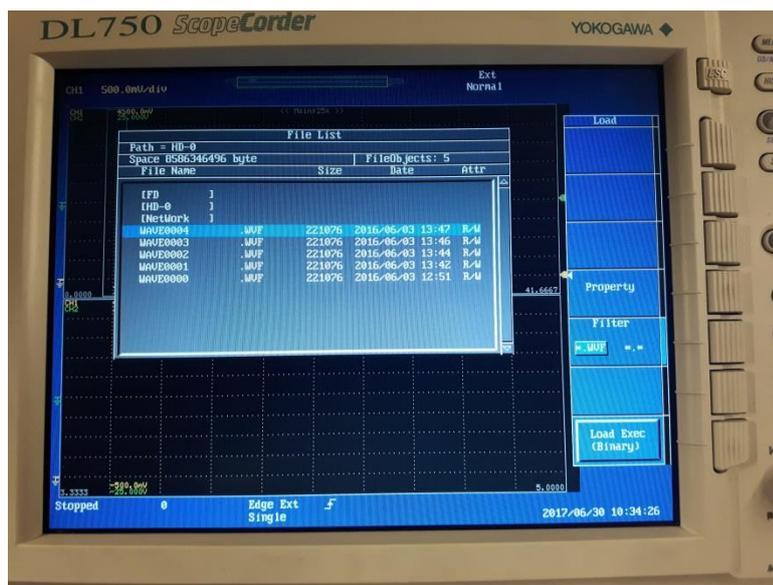


Imagen 55. Lista de discos y de ficheros en el osciloscopio.

Con esta funcionalidad del modo de pruebas se consigue poder trabajar y modificar el programa de forma más cómoda, desde cualquier otro PC, y segura, sin necesidad de tener que realizar ensayos reales para verificar que una modificación funciona correctamente.

5.3. Pantallas

Se va a mostrar y a explicar el interfaz gráfico del programa para el control y monitorización del motor de combustión. Al gestionar un gran número de cálculos e información ha sido necesario el empleo de dos monitores.

- **Monitor 1.**

En el monitor primario se muestran dos ventanas, la principal o “main” y la de “graficas medias”.

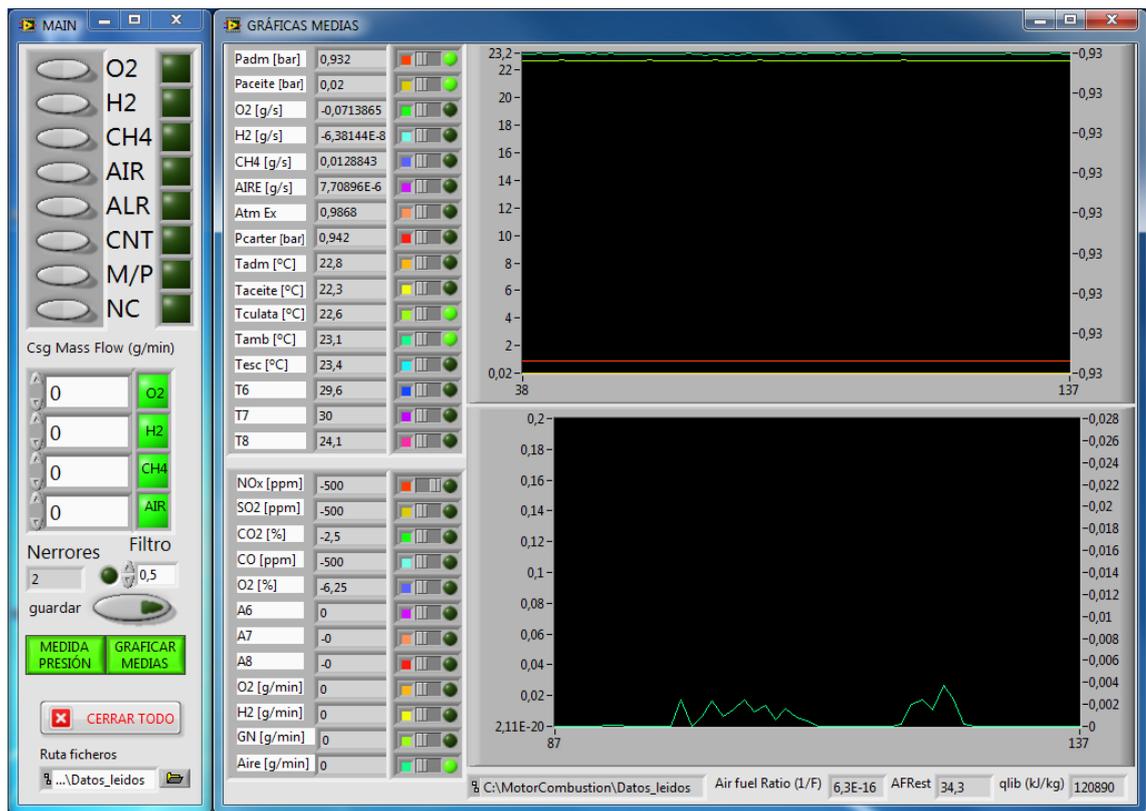


Imagen 56. Interfaz del monitor 1.



Imagen 57. Gestión de ventanas y opciones de guardado.

La ventana de la izquierda, denominada “main”, es la principal, la única que se abre inicialmente al ejecutar la aplicación y la que gestiona la apertura y cierre del resto de las ventanas, incluyendo el cerrado total de la ejecución del programa. Desde esta ventana también se selecciona la ubicación del directorio donde se generan los ficheros con los datos al guardar.

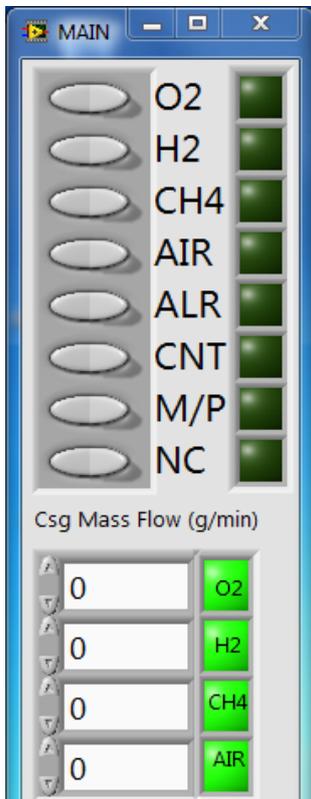


Imagen 58. Control alimentación y marcha del motor.

Con la parte superior del “main” se controla la alimentación, el contacto y el marcha /paro del motor. Con los interruptores se seleccionan los comandos a activar y con el LED de la derecha visualizamos su estado.

En la parte central se controlan los flujos del comburente y del combustible seleccionado. Se introducen las cantidades en gramos por minuto y luego se valida con el botón verde de su derecha.

Es importante tener conocimiento y seguir las recomendaciones sobre las proporciones de producto para no llegar a situaciones de riesgo o peligro.

- **Monitor 2.**

En el segundo monitor se muestra información y cálculos más avanzados de las lecturas del motor. Las gráficas superiores representan la presión, temperatura y el calor liberado; y en las gráficas inferiores se representa el diagrama p-v del ciclo termodinámico del motor y otros valores medios calculados.

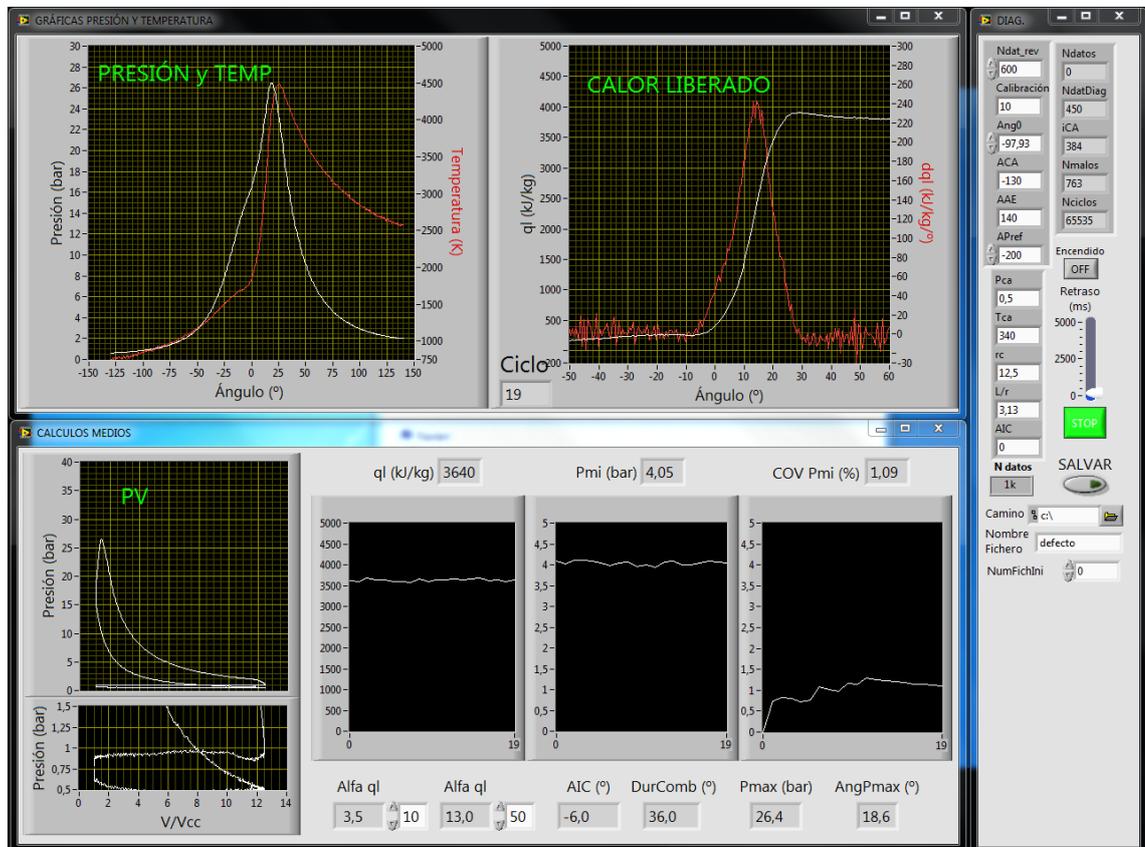


Imagen 59. Interfaz del monitor 2.

El menú de la derecha sirve para ajustar y calibrar los ángulos del motor, para que los datos recibidos se sincronicen al giro y a la fase que les corresponde, además se emplea para realizar el guardado de la lectura de un ensayo, seleccionando para ello el número de datos a almacenar y otros parámetros de configuración.

5.4. Configuraciones del programa

La configuración avanzada de los parámetros de programa no puede realizarse desde el ejecutable, sino que debe configurarse desde el software LabView, ya que son parámetros que deberían permanecer constantes y sólo modificarse a la hora de realizar pruebas o modificaciones en el programa o en la instalación. Estos parámetros son:

- Denominación del puerto ADAM: Es la conexión USB que llega del ADAM, el dispositivo encargado de transmitir las señales que envía y recibe el PC.
- Denominación del puerto YOKO: Es la conexión USB por la que se recibe información del osciloscopio.
- Modo prueba: Esta opción activa o desactiva el modo pruebas para poder trabajar offline y realizar pruebas o modificaciones en el programa.

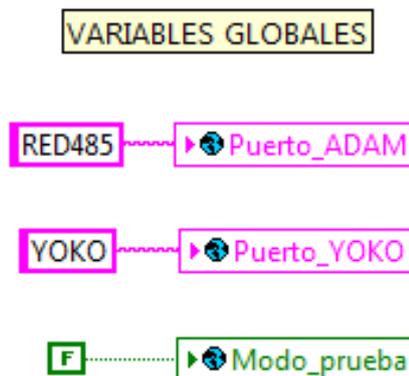


Imagen 60. Configuración de los parámetros de programa.

Estos se encuentran dentro de la rutina “Main.vi”, en su ventana de diagrama de bloques.

5.5. Generar ejecutable

Una vez terminada toda la programación y modificaciones, generamos un fichero ejecutable .exe con el programa, ya que es más cómodo que trabajar con los ficheros de LabView. Para ello, en el explorador de proyectos se abre el proyecto del motor de combustión y al final de la lista de ficheros que incluye el proyecto se encuentra el apartado “Build Specifications” sobre el que se da botón derecho y se escoge la opción “New Application (EXE)”, tal y como se muestra en la imagen.

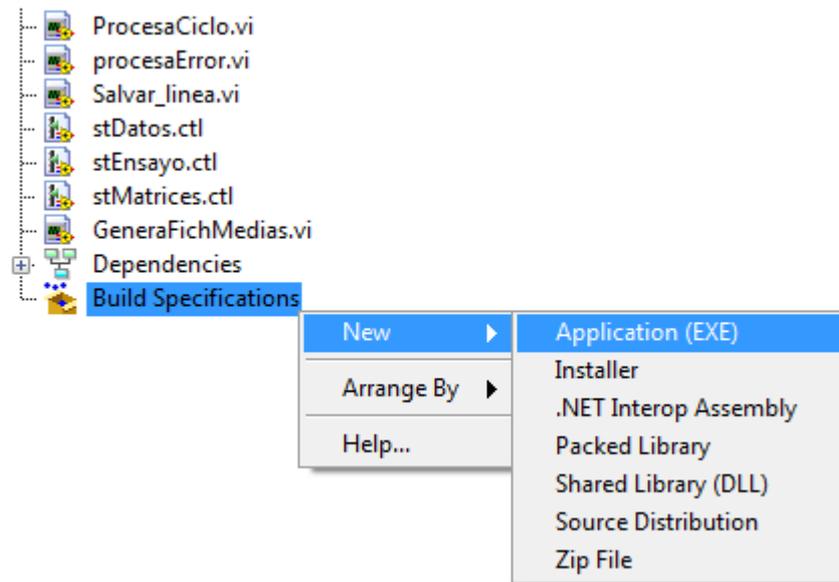


Imagen 61. Crear ejecutable .exe del proyecto.

Al crear una nueva aplicación se abre una ventana de configuración, en el apartado de información se introduce el nombre de la aplicación, una descripción y el directorio donde se va a generar el ejecutable.

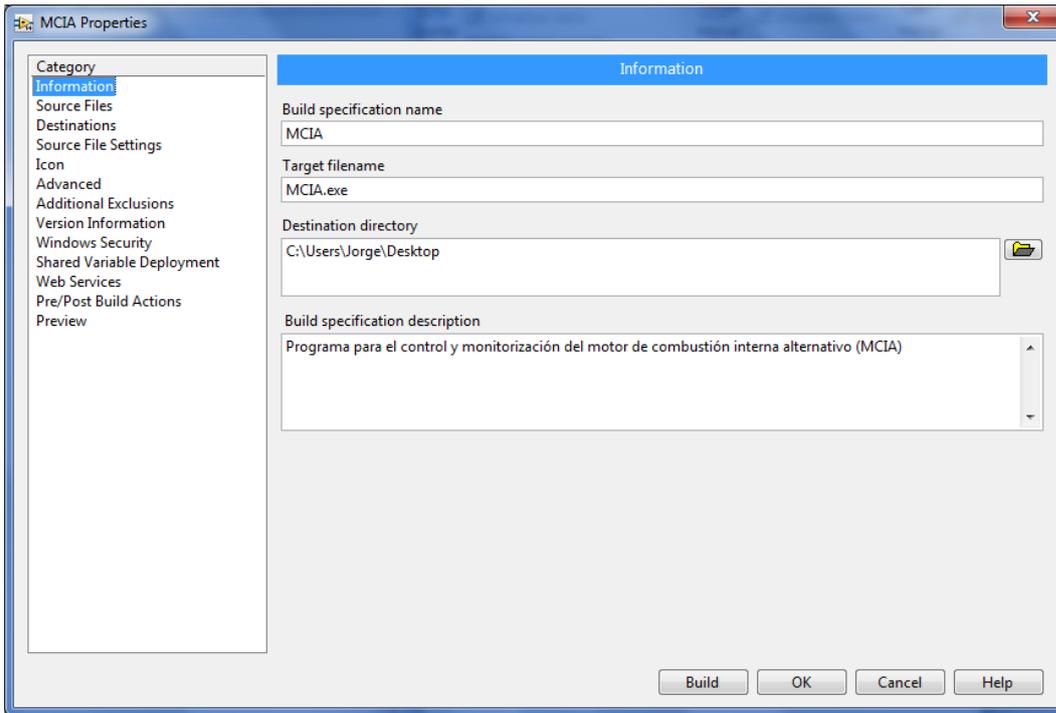


Imagen 62. Configuración de la información del ejecutable.

En el siguiente apartado de los ficheros recurso, se selecciona las rutinas de LabView que van a formar parte del ejecutable y cuáles van a iniciarse al ejecutar la aplicación.

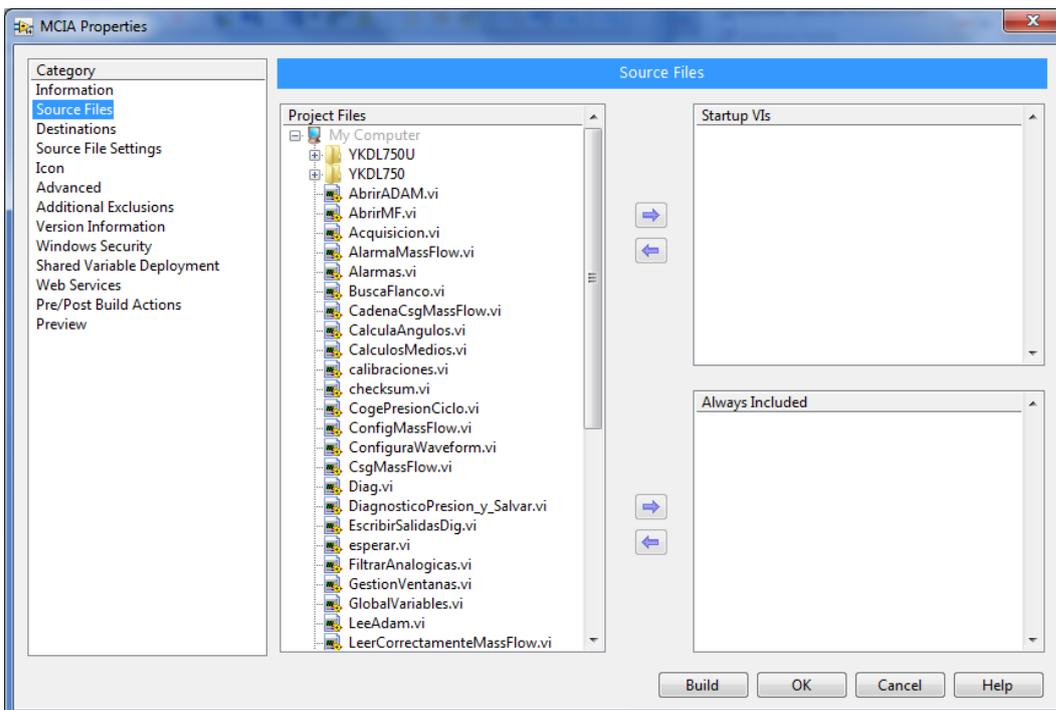


Imagen 63. Apartado de selección de ficheros recurso.

En este proyecto el fichero “Main.vi” es el principal y el que gestiona la apertura y ejecución de las demás rutinas. Por ello, el fichero Main se añade a la sección de “Startup VIs” y los demás ficheros se añaden en la otra sección “Always Included”. Para añadir o quitar rutinas de una sección se utilizan las flechas que se ven en la imagen. Finalmente debe quedar como en la siguiente imagen.

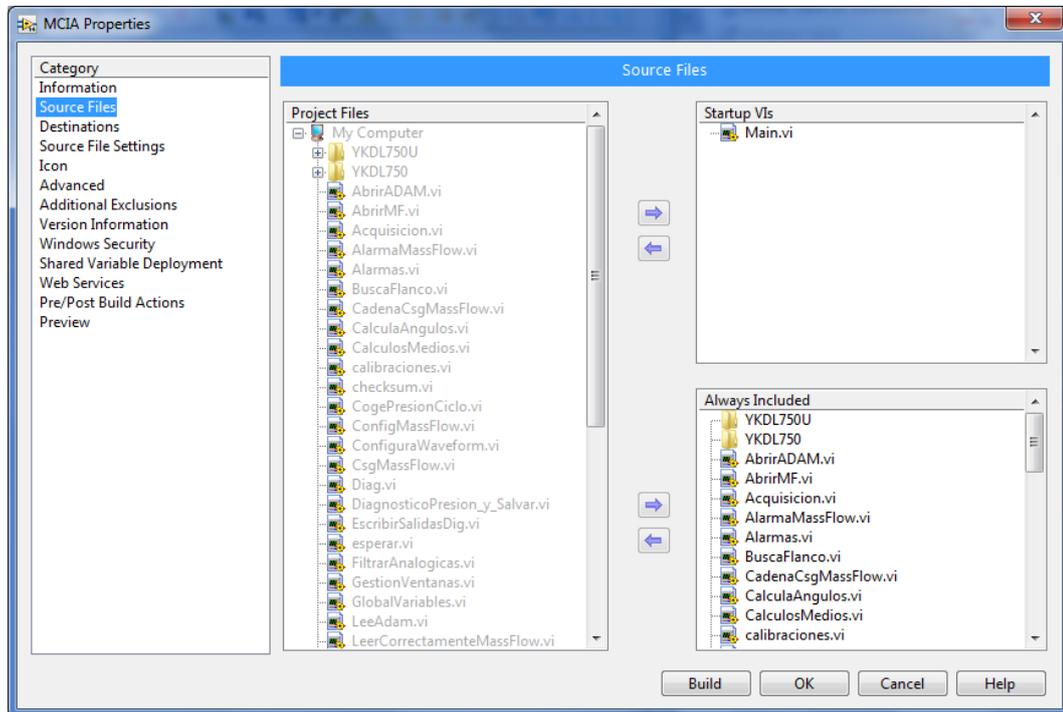


Imagen 64. Configuración final de los ficheros recurso.

Y con esto ya estaría configurada la creación de un ejecutable, lo siguiente es pulsar el botón “Build” y la aplicación se genera en el directorio que se haya indicado.

6. SEGURIDADES Y PUESTA EN MARCHA

En instalaciones de este tipo, con un riesgo mayor debido a la existencia de productos inflamables y explosivos y de mecanismos en movimiento, la seguridad se convierte en un factor de gran importancia.

6.1. Canal de seguridad

El canal de seguridad constituye todos los elementos de protección que se encuentran en la instalación eléctrica y que son necesarios para el funcionamiento de la instalación y del motor. Si alguno de los elementos que forman el canal no se encuentra en el estado operativo que le corresponde, no se permitirá el funcionamiento de la instalación.

Con ello se consigue que ante un incidente inesperado o comportamiento inestable que pueda poner en peligro la situación, no se permita poner la instalación en marcha o que ésta se detenga en el caso de ya encontrarse en marcha.

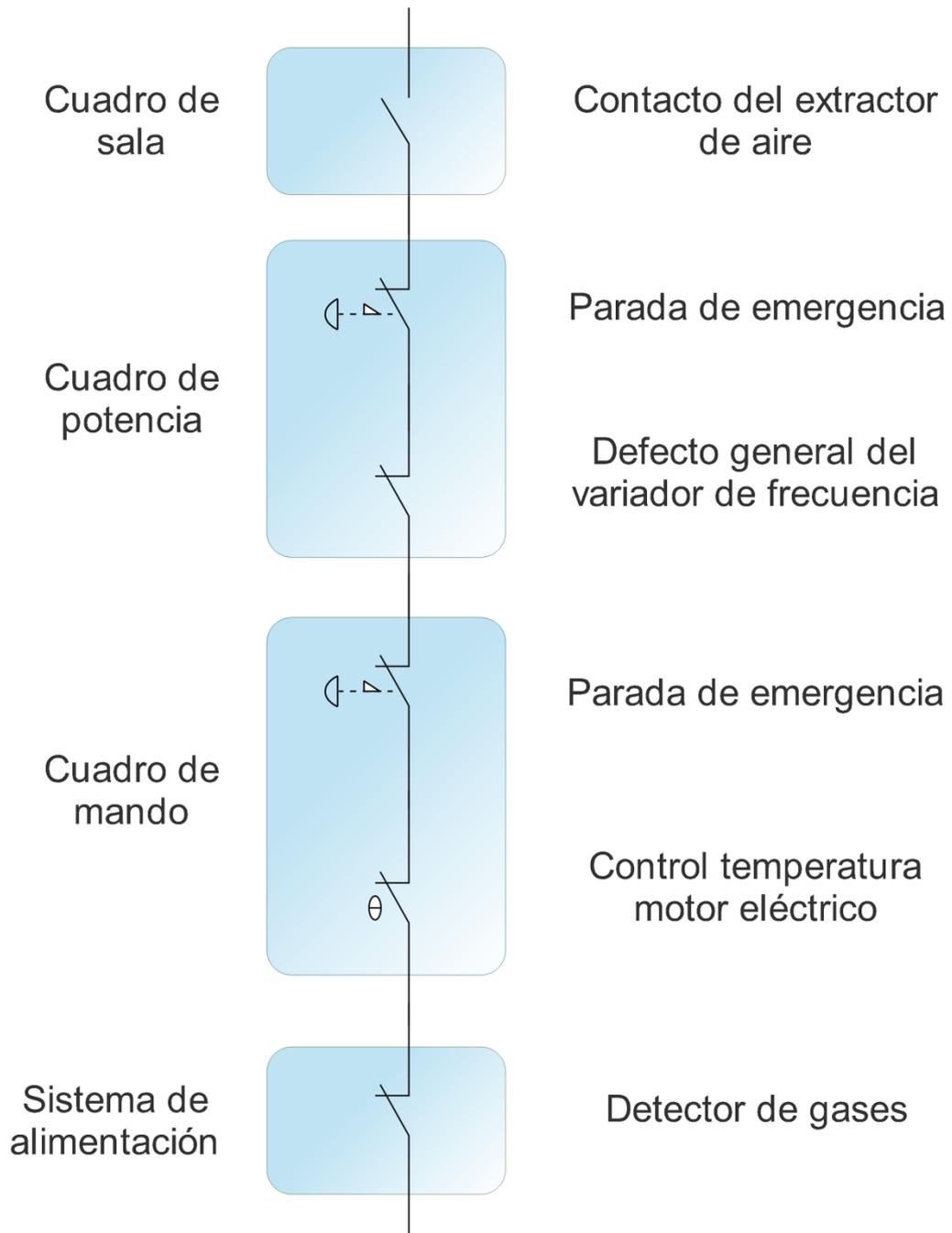


Imagen 65. Canal de seguridad.

Los elementos que lo forman son:

- **Contacto del extractor de aire:** Para el funcionamiento de la instalación es necesario que el extractor se encuentre en marcha para la evacuación de gases ante posibles escapes o fallos de alimentación.



Imagen 66. Extractor de aire.

- **Paradas de emergencia:** Al ser accionadas cortan el canal de seguridad deteniendo la instalación.
- **Defecto general del variador:** Ante cualquier defecto que se produzca en el variador la instalación es detenida.
- **Control temperatura del motor eléctrico:** Si la temperatura del motor sobrepasa cierto límite por algún problema se corta el canal.
- **Detector de gases y atmosferas explosivas:** Si detecta la presencia de un gas por una posible fuga o fallo en la alimentación, la instalación se detiene.

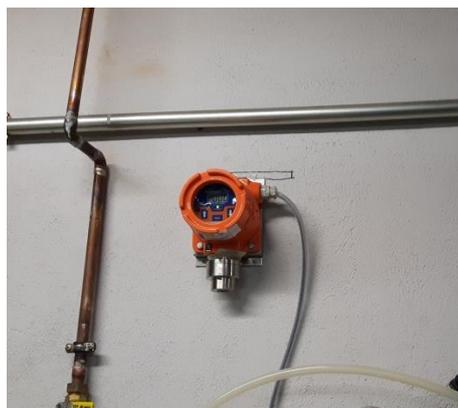


Imagen 67. Detector de gases.

6.2. Peligros y advertencias

Los usuarios deben conocer los riesgos y advertencias de la instalación. A continuación se muestra un plano de la sala de ensayos con sus riesgos.

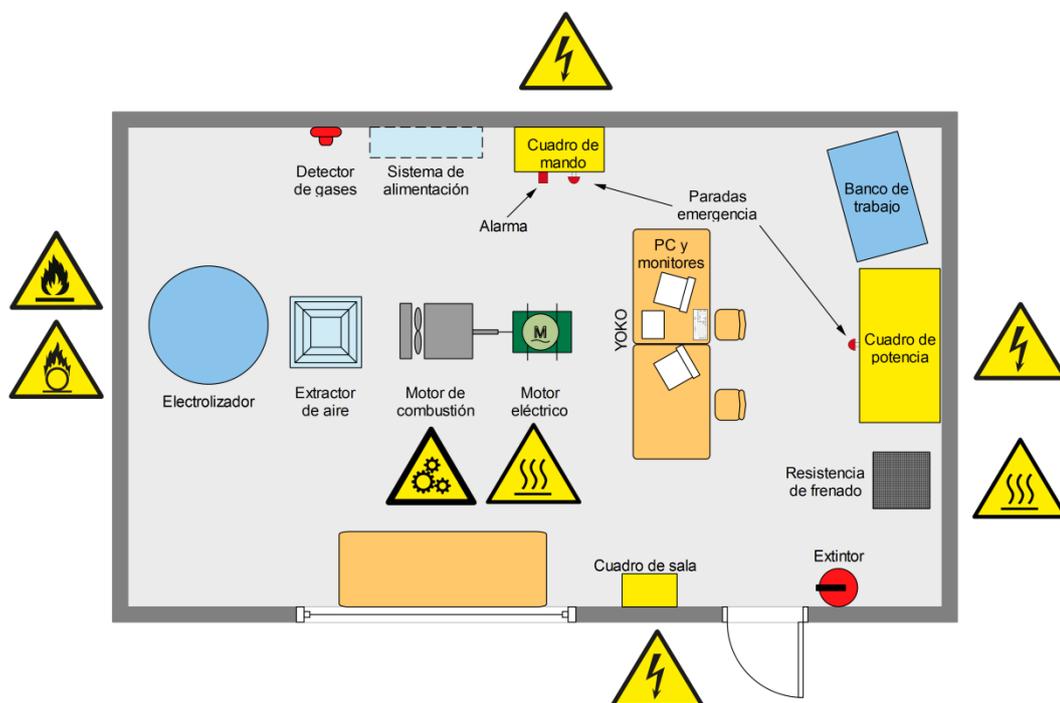


Imagen 68. Advertencias de peligro.

Las señales de advertencia (triangulares, borde negro, pictograma negro sobre fondo amarillo) avisan sobre un riesgo o peligro.

Riesgo eléctrico: En los tres cuadros que contiene la sala, el cuadro de mando posee una tensión alterna de 220V, mientras que el cuadro de sala y de potencia su riesgo es mayor debido a que poseen una tensión trifásica de 380V.



Imagen 69. Advertencia de riesgo eléctrico de 400V en cuadro de potencia.

Materiales inflamables: En el electrolizador y en la alimentación del motor de combustión, debido al uso de combustibles de metano y de hidrógeno.



Imagen 70. Advertencia de materiales inflamables en el depósito de hidrógeno.

Materiales comburentes: En el electrolizador y en la alimentación del motor de combustión, debido al uso de comburentes u oxidantes de oxígeno puro o el oxígeno contenido en el aire atmosférico.



Imagen 71. Advertencia de materiales comburentes en el depósito de oxígeno.

Alta temperatura: El motor eléctrico y la resistencia de frenado pueden llegar a calentarse en función de la carga, velocidades, aceleraciones y desaceleraciones a las que se le someta al motor eléctrico.

Riesgo mecánico: En los motores eléctrico y de combustión, ya que son mecanismos en movimiento.

6.3. Prohibiciones y protecciones

Además de conocer los riesgos de la instalación también es necesario cumplir con las normas de prohibición y conocer los elementos de protección que posee la sala en caso de incidentes o comportamientos inesperados.

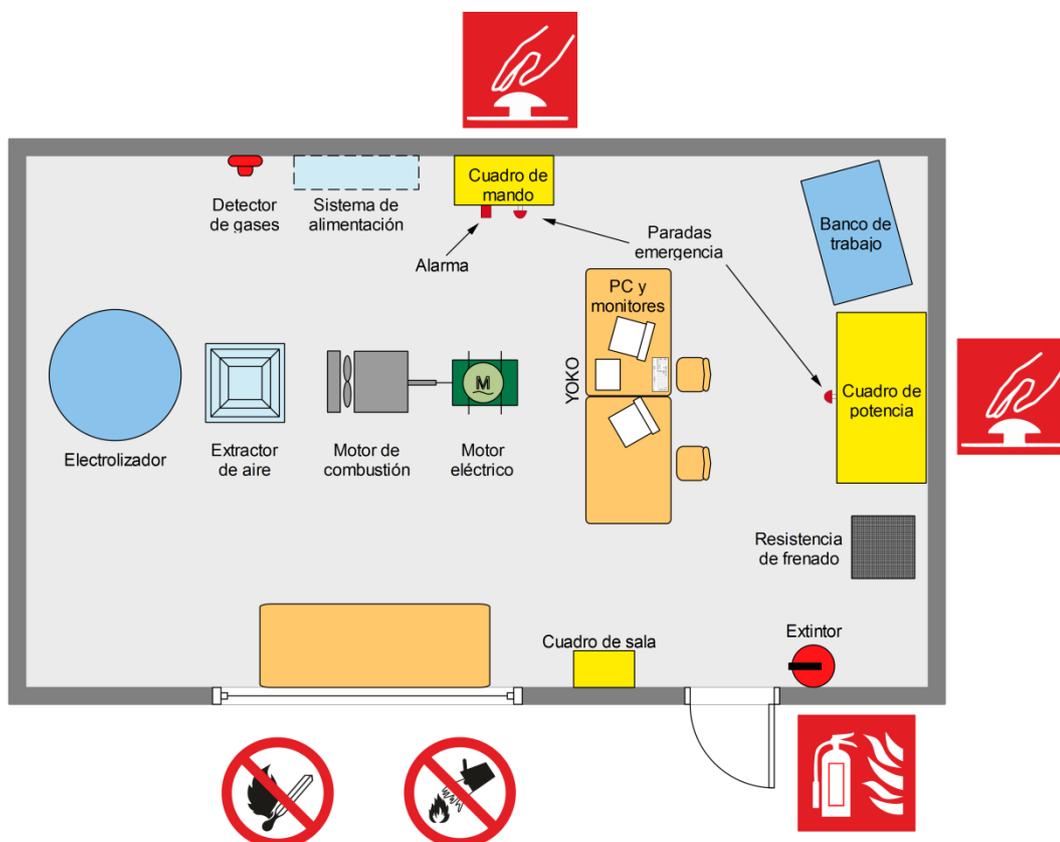


Imagen 72. Plano de la sala con señales de prohibición y elementos de protección.

Las señales de prohibición (circulares, con pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda rojos) prohíben un comportamiento susceptible de provocar un peligro.

Prohibido fumar y encender fuego: Debido a que la sala posee materiales inflamables o combustibles y comburentes.

Prohibido apagar con agua: En el caso de fuego por combustibles, el agua propagará el fuego rápidamente y puede provocar una explosión. En el caso de fuego eléctrico, el agua conduce la electricidad provocando cortocircuitos y favoreciendo la creación de fuegos. En ambos casos debe usarse un extintor específico para estas situaciones.

Los equipos de protección ante incidentes (rectangulares, pictograma blanco sobre fondo rojo) señalan la localización de los elementos para la lucha o detención de un accidente.

Indicación parada de emergencia: Importante conocer su ubicación y que sean de fácil alcance para detener la instalación en caso de accidente o comportamiento inesperado.

Indicación extintor: Equipo de lucha contra incendios



Imagen 73. Extintor junto a su señalización.

6.4. Puesta en marcha

A continuación se describe el protocolo de arranque y parada del banco de ensayos del motor de combustión.

1. CALENTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN TENSIÓN DE LOS DIFERENTES EQUIPOS.

Encender los dispositivos electrónicos al menos una hora antes de empezar a utilizarlos, esto permite que los circuitos electrónicos lleguen a una temperatura estacionaria y sus características no varíen en el tiempo debido a variaciones de temperatura.

1.1 Analizador de gases:

Enchufar el analizador.

Pulsar el botón ON del equipo FUJI.

Encender la bomba de muestreo, el convertidor de NOx y el enfriador de muestra.

No calibrar hasta que no haya pasado una hora, el proceso de calibración se especifica más adelante.

1.2 Amplificador de carga

Colocar el interruptor de la parte trasera en ON

Esperar a que acabe el proceso de encendido y no de error, en la parte delantera del equipo pulsar la tecla measure, el amplificador estará listo para realizar medidas, conviene esperar a que se caliente para que esté más estabilizado.

1.3 Cuadro de mando:

El cuadro de mando alimenta a los massflow y a los convertidores analógico-digital de baja frecuencia de muestreo. También conviene que se encienda un tiempo antes de empezar a medir. Si no se enciende este cuadro el programa del ordenador no funcionará correctamente ya que no se podrá comunicar ni con los massflow ni con los módulos de adquisición.

Se enciende girando un interruptor en la puerta del cuadro.

1.4 Cuadro de potencia:

El cuadro de potencia se pone bajo tensión abriéndolo y poniendo en ON el interruptor situado en la parte superior izquierda. Este cuadro alimenta fundamentalmente al variador de frecuencia. En este caso no es necesario esperar al calentamiento de la electrónica.

1.5 Ordenador:

Encender el ordenador, tiene un interruptor de la fuente de alimentación en la parte trasera y un botón de encendido en la parte delantera.

Encender también los dos monitores en el caso de que estén apagados.

1.6 Aire admisión motor:

Encender el compresor de aire comprimido situado en el exterior de la sala,

- Interruptor general amarillo y rojo.
- Interruptor de enfriadora situado a la derecha.
- Interruptor compresor situado más a la izquierda, se acciona girándolo hacia la derecha, luego vuelve a su posición.

Abrir la llave manual de salida del compresor, situada en la salida de aire, en la cara derecha del compresor respecto de la cara de encendido eléctrico.

Abrir la llave manual dentro de la sala de ensayos, situada debajo de los massflow después del filtro y regulador de aire. Verificar que la presión de salida del regulador está alrededor de 2 bares.

2. PUESTA EN DISPOSICIÓN DE ARRANCAR DE LA INSTALACIÓN:

2.1 Arranque del programa

Existe un acceso directo al programa desde el escritorio del ordenador.

2.2 encendido de la ventilación

Encender la ventilación en el cuadro situado a la derecha (desde el interior de la sala) de la puerta de entrada.

2.3 Luz de preparado

En este momento, en el cuadro de control se tiene que encender una luz, esto quiere decir que todo está listo para arrancar el motor y que no existe ninguna alarma que lo impida.

3. ARRANQUE DEL MOTOR.

Ajustan el régimen de giro de arranque del motor eléctrico en el potenciómetro situado en el cuadro de potencia, el display del variador debe de indicar 50 Hz, con frecuencias inferiores puede haber problema para el arranque en frío. Una vez que el motor está caliente se puede arrancar a menores regímenes de giro (frecuencias).

3.1 Arrastre del motor

En el programa pulsar el botón de marcha paro motor. En este momento el motor estará girando, succionando aire por la válvula de admisión, pero todas las válvulas conectadas a la admisión están cerradas.

3.2 Contacto

Pulsando en el programa el botón de contacto, se pone en funcionamiento el sistema de encendido y el codificador angular que genera las señales de 1xV y NxV para el osciloscopio. Ya está saltando la chispa en el motor.

3.3 Entrada de aire en el motor.

Introducir una consigna de gasto de aire en el motor, tener en cuenta el régimen de giro y el grado de carga que se desea a la hora de determinar la consigna.

Esta consigna no se enviará al Masssflow hasta que no esté activa la salida digital de la válvula de aire.

3.4 Entrada de combustible en el motor.

Abrir la llave de gas combustible

Introducir una consigna de gasto de combustible en el motor, tener en cuenta el caudal de aire que está entrado para obtener el dosado deseado.

Esta consigna no se enviará a los Masssflow de combustible hasta que sus respectivas salidas digitales no estén activadas.

Activar la salida digital de la válvula de combustible.

En este momento el motor debe de empezar a quemar. En el caso de que no se note un cambio en su funcionamiento fundamentalmente por el sonido y por la elevación de la temperatura de escape.

3.5 Monitorizado en el osciloscopio.

Encender el osciloscopio y configurarlo con trigger y reloj externo, si la señal de presión no está bien situada, cambiar el flanco de disparo en la configuración del trigger del osciloscopio.

Con la visualización de la presión en la cámara de combustión se está en disposición de ajustar el avance a las condiciones de funcionamiento deseadas.

3.6 Ajuste de las condiciones de funcionamiento.

El régimen de giro se ajusta en el potenciómetro situado en el cuadro de potencia.

ATENCIÓN: al modificar el régimen de giro también se modifica el grado de carga, ya que como el caudal de gases es el mismo, si el régimen de giro sube la masa por ciclo disminuye y si el régimen baja la masa aumenta, esto último puede provocar presiones de admisión mayores de la atmosférica.

La carga se ajusta modificando el caudal de aire y de combustible en la misma proporción.

El dosado se ajusta modificando solo uno de los dos anteriores.

El avance se ajusta con mando situado en la caja de control del encendido.

4. PARADA DEL MOTOR

Llevar el motor a un régimen por debajo de 1500 rpm

Apagar la salida digital de las válvulas de combustible y poner las consignas de los massflow a cero.

En el caso de que no se vaya a utilizar más la instalación, CERRAR LA LLAVE MANUAL DE PASO DE LOS COMBUSTIBLES.

Proceder de la misma manera con aire, apagar la salida digital y poner la consigna del massflow a cero.

En el caso de que no se vaya a utilizar más la instalación, Cerrar la llave manual de aire.

Apagar la salida digital de marcha paro del variador de frecuencia, el motor se parará.

5. APAGADO DE LA INSTALACIÓN

Estas operaciones se realizaran para abandonar la instalación.

Parar el cuadro de potencia general.

Apagar el osciloscopio.

Cerrar el programa y apagar el ordenador.

Apagar la ventilación **NUNCA APAGAR LA VENTILACIÓN CON LAS VÁLVULAS MAUNALES DE COMBUSTIBLE ABIERTAS.**

Apagar el compresor

Apagar el cuadro de control.

Apagar el amplificador de carga: **En el caso de que el amplificador se use de un día para otro no apagarlo.**

5.1 Apagado del analizador de gases

- Abrir el decantador de agua que está situado en el exterior del analizador, en el lateral izquierdo. De esta forma el aire ambiente es lo que entra en el analizador de gases. Tirar el agua que haya decantado en el bote.
- Dejar la bomba de muestreo encendida durante un tiempo, aproximadamente media hora, para el limpiado del analizador con el aire ambiente.
- Apagar la bomba de muestreo

- Apagar el convertidor de NOx
- Apagar el analizador de gases FUJI en el interruptor ON/OFF. **En el caso de que el analizador se use de un día para otro no apagarlo, el resto de dispositivos si.**

6. CALIBRACIÓN DEL ANALIZADOR DE GASES

Encender el analizador de gases una hora antes para su posterior calibración:

- Enchufar el analizador
- Pulsar el botón ON.
- Dejar la bomba de muestreo encendida pasando gases del ambiente.

Calibración del analizador de gases: dos partes:

- Situar el cero.
 - Abrir la llave de la bombona de N2 que está en el cuarto de la bomba esférica de combustión.
 - Abrir la llave de paso del N2 dentro de la sala de ensayos.
 - Pulsar el interruptor CERO
 - Esperar un rato hasta que se queda todos los valores próximos a cero
 - Cerrar la llave de paso del N2 en la sala de ensayos
 - Cerrar la bombona de N2 en el cuarto de la bomba esférica de combustión
- SPAN: calibrar cada gas
 - Fijarse en las bombonas que están debajo del analizador de gases. Cada una de ellas contiene una mezcla de gases calibrada. Fijarse en los gases que contiene cada una de ellas.
 - Abrir una de las dos bombonas de gases.
 - Pulsar el botón SPAN: calibrar cada uno de los gases del analizador que se corresponden con los contenidos en la bombona abierta.
 - Esperar a que se estabilice el valor de los gases en cuestión.
 - Cerrar la bombona abierta
 - Abrir la otra bombona
 - Pulsar el botón SPAN para calibrar los gases del analizador contenidos en la bombona abierta.
 - Esperar a que se estabilice el valor de los gases en cuestión
 - Cerrar la bombona
 - Quitar el botón SPAN

CONCLUSIONES

Con este proyecto se ha conseguido una mejora general de sala de ensayos, con la documentación generada es posible comprender el funcionamiento de la instalación y trabajar en ella de una forma más segura, ya que se explican procedimientos y advertencias de seguridad para que el usuario pueda manejar la instalación sin peligro. Además con los esquemas eléctricos realizados es más sencillo de tratar y detectar posibles fallos en la instalación eléctrica, así como a la hora de realizar nuevas modificaciones en la instalación.

Con la implantación del nuevo variador se consigue un arranque más controlado y además un ahorro energético, mientras que evita el desgaste de los elementos tanto eléctricos como mecánicos, aumentando la vida útil de todos estos.

Y la principal mejora llega en el software, desde donde se controla y monitoriza el motor, siendo este el objetivo principal de la sala de ensayos. Puesto que ahora la visualización y la gestión del programa es mucho más entendible, visible y manejable. Además de la opción grabar los datos de un ensayo, lo que posibilita un posterior análisis de los resultados, incluso la representación de estos y la comparación de diferentes ensayos.

Se obtiene así, una instalación más útil, segura y eficiente, facilitando al usuario la gestión, control y lectura de datos del motor; y sacando un mayor partido al objetivo final de la sala de ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

Wikipedia.

Schneider Electric.

Power Electronics. *Variadores de velocidad / arrancadores estáticos. Aplicaciones, instalación y normativa sobre regulación y control de motores de C.A.* Documentación técnica 4220000F.

Power Electronics. *Arrancador electrónico digital, serie V5.* Manual de Usuario MT0001 Rev. F.

Sören Kling. *Arranque suave.* Revista ABB 1/2002.

Rockwell Automation. *Cuándo utilizar un arrancador suave o un variador de frecuencia variable de CA.* Documentación técnica 10/2014.

Fuji Electric. *Multi-function Keypad "TP-G1-J1".* Manual de instrucciones.

Fuji Electric. *Variadores FRN-Serie C1S/E.* Manual de instrucciones.

National Instruments. *LabVIEW Help.*

ePLAN. *Manual de iniciación ePLAN electric P8.*

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 485/1997 sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.* BOE núm. 97.

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 842/2002 por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.* BOE núm. 224.