Escuela Politécnica Superior de Jaén

Grado en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE ENSAYO DE MOTORES TÉRMICOS

Alumno: Ana Cecilia López Navarro

Tutor: Prof. D. Fernando Cruz Peragón

Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

Octubre, 2016

Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera

Don FERNANDO CRUZ PERAGÓN , tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: PUESTA A PUNTO DE BANCO DE ENSAYOS DE MOTORES TÉRMICOS, que presenta ANA CECILIA LÓPEZ NAVARRO, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Octubre de 2016

El alumno:	El tutor:
ANA CECILIA LOPEZ NAVARRO	FERNANDO CRUZ PERAGÓN

Índice general

i. **Memoria**

ii. **Manual de funcionamiento**

iii. **Manual de mantenimiento**

iv. **Esquemas de la instalación**

v. **Planos del sistema de evacuación de los gases de escape**

i. Memoria

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE ACTUALIZACIÓN DEL BANCO. 10
2.1. Búsqueda y organización de la información. 10
2.2. Revisión del motor y puesta a punto. 11
2.3. Puesta a punto del banco realizando diferentes formas de funcionamiento. 14
2. CONCLUSIONES.....16
3. REFERENCIAS. 17

1. OBJETIVOS, MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES DEL TRABAJO.

Se encuentra a disposición del Departamento de Ingerniería Mecánica y Minera de la Universidad de Jaén, un banco de pruebas de motores térmicos asociado a un sistema de cogeneración. Este equipo permite realizar diferentes ensayos sobre el funcionamiento de motores, así como el aprovechamiento del calor de los gases de escape y del propio agua del motor para calentar agua a través de una caldera de recuperación y un intercambiador de calor.

Tras la adquisición del equipo, se presentaron algunas dificultades que llevaron al desuso del mismo. Debido a la gran cantidad de elementos con los que cuenta la instalación, no se llegó a establecer un manual conjunto del funcionamiento y mantenimiento de los equipos, a lo que se añaden problemas asociados a la actualización del software que emplea e incluso de suministro de material, ya que la empresa a la que se encargó el proyecto del banco ha dejado de trabajar.

Debido a los problemas citados anteriormente, se propuso la realización de un trabajo con el objetivo de verificar, restaurar y poner en marcha el banco así como también recapitular y organizar la información conocida sobre el mismo para la posterior realización de un manual.

Aprovechando el trabajo, se pretende realizar una limpieza de elementos, sustitución de dispositivos estropeados, puesta a punto del motor disponible y actualización de software.

Una vez realizado el trabajo, el banco de ensayos queda a disposición de los alumnos y docentes para utilizarlo de forma didáctica.

2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE ACTUALIZACIÓN DEL BANCO.

A continuación se explica el procedimiento realizado para la puesta a punto del banco.

2.1. Búsqueda y organización de la información.

Se procede a organizar la información proporcionada por el departamento, que consiste en diferentes documentos en soporte papel y digital.

Con ellos, en primer lugar se realiza una clasificación a razón de información sobre elementos, información sobre funcionamiento, planos y esquemas y, por último, otros documentos de interés.

En cuanto a la primera clasificación, aparecen catálogos de algunos de los elementos que conforman la instalación, como son el motor, el freno dinamométrico, el intercambiador de placas y el radiador. La caldera de recuperacion se fabricó en exclusividad para esta instalación, por lo que tambien se cuentan con los planos detallados de esta.

Para recavar información sobre el resto de los elementos, es necesario realizar una limpieza general de cada uno de ellos, con el fin de poder comprobar las características que aparecen en las diferentes etiquetas identificativas. Los fabricantes de cada elemento proporcionan la información necesaria a través de sus paginas webs.

Sobre el funcionamiento de la instalación se cuenta con poca información detallada. Por un lado, la empresa a cargo del banco de ensayo proporcionó una amplia información sobre el funcionamiento y mantenimiento del freno hidraúlico, pero sobre el resto del banco de ensayo solo aparecen unos esquemas sobre la disposición de cada subbloque en el que esta dividida la instalacion, sin dar detalles sobre su funcionamiento.

Por suerte, existen documentos sobre el trabajo realizado anteriormente por el departamento antes de que la instalación dejara de utilizarse, que han servido de

gran ayuda y orientación en la comprensión del funcionamiento de la misma. Esta información, junto con los ensayos realizados en el banco para su puesta a punto, han servido para entender y redactar el funcionamiento de la instalacion, como queda reflejado en el manual que se presenta en este trabajo.

La información relativa a planos y esquemas de la instalación es bastante detallada. Se cuenta con esquemas sobre el sistema de cogeneración, dividido en diferentes bloques, planos sobre el sistema de recuperación de gases, realizado especificamente para este banco de ensayos, y esquemas eléctricos de los sistemas de control de electroválvulas y arranque del motor.

Por último, se cuenta con un manual sobre el uso del software para el sistema de adquisición de datos, fabricado por la empresa a cargo del banco de ensayos. Durante la revisión del motor y su puesta a punto se desestimó el uso de este programa como se explicará a continuación.

2.2. Revisión del motor y puesta a punto.

Una vez organizada toda la información, se pasa a la puesta a punto del banco de ensayo, empezando por el corazón de la instalación, el motor. Para ello, se realizan las siguientes acciones:

- Para no desaprovechar del todo las posibilidades que brinda este banco de ensayos, y con otros fines educativos, se ha estado utilizando el freno hidráulico acoplado a otro motor, por lo que es necesario la desistalación de éste y la colocación del que va a ser utilizado junto con el sistema de cogeneración.

- Una vez colocado, es necesario cargar el sistema de alimentación. Aparece aquí el primer problema. El motor empleado anteriormente es de gasolina, y ahora se instala un motor diesel, por lo que es necesario limpiar el tanque y el

sistema de distribución. Realizada la limpieza del tanque, se procede a cambiar la conexión entre este y el motor, ya que presenta una fuga.

- El motor no tiene autoarranque, por lo que, ya cargado el sistema de alimentación, se conecta la batería y se hace una primera prueba de arranque. Esta prueba resulta fallida, ya que la conexión de la masa tiene el cable dañado. Una vez arreglado, se observa que las vibraciones de la batería hacen que la masa se desconecte porque el cable es demasiado corto y está muy tenso, por lo que se hace necesario fijar la bateria con una horquilla cada vez que el motor se arranque.

- Por otro lado, cuando se consigue arrancar el motor, este permanece a ralentí y acaba parandose. Se hace necesario un purgado del motor, ya que, debido al desuso, tiene aire dentro.

- Ya solventados estos problemas, se arranca con normalidad. Cuando se va a realizar un primer ensayo, el volante de inercia se desprende del eje. En un principio parecía que se habia partido, lo cual acarrearía muchos problemas, pero en segunda instancia se comprueba que lo que se ha partido son los tornillos que lo ajustan al eje. La causa parece ser que el eje no estaba bien alineado y las vibraciones habían acabado por partirlos. Se procede a cambiar los tornillos y alinear correctamente el eje, tras lo cual el motor funciona ya con normalidad.

Unido a la puesta a punto del motor, se debe comprobar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos, que recoge el consumo, la temperatura, la velocidad y la pontencia a las que trabaja el motor. El principal problema que se presenta en el sistema de adquisición de datos es la desactualización del software y el idioma.

- La empresa fabricante es italiana, por lo que el software esta en este idioma sin tener la opción de poder cambiarlo. Esto hace difícil la comprensión y configuración del programa. Además, hoy en dia existen

programas mucho mas modernos y completos para este cometido, por lo que usar este software tan antiguo no viene al caso.

- Por ello, se decide utilizar el sistema de adquisición de datos sin utilizar el software; esto es, el sistema cuenta con un dispositivo que emplea unos lectores de frecuencia y muestra a través de un display las lecturas de velocidad en rpm y el par aplicado por el freno hidráulico en Nm. Además, el sistema cuenta con otros dos modulos que leen la temperatura y el consumo, por lo que podrían instalarse tantos displays como lecturas se requieran, para hacer más funcional el sistema.

- En un principio, se empiezan a hacer ensayos utlizando el software, pero aparece el problema de que el lector de consumo no da ninguna medida. Al analizar el sistema de alimentación del motor, se observa que el combustible pasa directamente del tanque al motor, sin atravesar el filtro y el sensor. Al intentar reajustar el circuito para que el combustible pase a traves del sistema de lectura, el sensor se parte. El desuso y la corrosión del plastico que lo compone provocan su total inutilidad.

- Ha sido imposible encontrar un sensor de las mismas características debido a la antigüedad del sistema y a que el paso del tiempo ha borrado las propiedades impresas en la etiqueta identificativa. Por ello se decide reusar del sistema de lectura por frecuencia y medir el consumo a través del sistema de pipetas descrito en el manual.

Teniendo en cuenta todo esto, el motor ya esta listo para su utilización.

2.3. Puesta a punto del banco realizando diferentes formas de funcionamiento.

Para comprobar el estado del resto de los elementos de la instalación, es necesario ir realizando diferentes pruebas con el equipo en marcha.

- No es necesario arrancar el motor para comprobar el funcionamiento del sistema de cogeneración, por lo que se procede a activar el diferencial que lo alimenta.
- Lo primero que se observa es que la bomba BC-1 se activa automáticamente al alimentar al sistema. Se decide por tanto establecer un control para su activación, utilizando para ello el interruptor de una de las electroválvulas que se desmantelaron en el pasado. Este cambio realizado con aterioridad se debe al sistema de refrigeración con el que contaba en un principio la instalación, consistente en la entrada de agua directamente del aljibe, que producía un tremendo choque térmico en el motor.
- Unido a esto, se plantea una mejora en el sistema de refrigeración del motor, para lo que se procede a la instalación de un sistema de llaves manuales que, a través de unas bifurcaciones en T, desvían el agua del motor al intercambiador de calor para su refrigeración a través del sistema de cogeneración, o desvían el agua directamente al radiador, para su utilización sin pasar por el sistema de cogeneración.
- Tras activar el sistema de alimentación, se abren las llaves de paso del agua que viene desde el aljibe, y se comprueba que la linea independiente que lleva el agua al freno hidraulico lleva la presión adecuada, pero, en la linea que lleva el agua a la parte de cogeneración, el manómetro no mide ninguna presión. Se llega a la conclusión de que la linea está abierta y el agua no se retiene en el circuito. Las válvulas que controlan la ida y el retorno del aljibe son la EV-9 y EV-10, que se suponen normalmente cerradas. Por tanto para cargar el sistema de

agua, es necesario abrir la EV-9, dejando paso al agua que viene del aljibe.

- Aun así, el problema persiste, por lo que se llega a la conclusion de que la EV-10 no es, como indica la información del fabricante, normalmente cerrada. Efectivamente, al activarla, se cierra el retorno al aljibe y la linea de agua toma presión, esto es, la EV-10 es normalmente abierta, y siempre que no esté activada el circuito pierde agua hasta vaciarse.
- Por tanto, cada vez que se ponga en funcionamiento el banco de ensayo, es necesario un paso previo de llenado del depósito acumulador que toma el agua del aljibe, como se explica en el manual de funcionamiento.
- Debido a este problema, se hace necesario comprobar las demás electroválvulas, para corroborar que todas esten en la posición que indican los esquemas y manuales.
- Una vez comprobado el estado de las válvulas, se procede a ensayar el banco en completo funcionamiento. El procedimiento a seguir para la puesta en marcha del banco de ensayos se explica en el manual de funcionamiento.
- La primera vez que se pone en marcha la instalación al completo aparece el problema de que el freno hidráulico no transmite carga al motor. Esto es debido a que a veces salta el diferencial que lo alimenta que se encuentra situado en el interior del dispositivo de adquisición de datos. El freno no presenta ningun otro problema.

Solventados todos estos problemas, la instalación está lista para su utilización.

3. CONCLUSIONES.

Tras la realización de este trabajo, quedan a la vista los problemas que acarrea el desuso y abandono de los equipos. El mantenimiento periódico de las instalaciones es crucial, vayan a utilizarse o no, para evitar problemas y averías.

Es muy difícil trabajar sin tener información detallada de un equipo, por lo que es muy importante exigir dicha información, en formato papel o digital, cuando se adquiera cualquier instalación. De lo contrario, la información que se transmite oralmente se va perdiendo y al final el equipo deja de usarse correctamente o no se usa.

Instalaciones como esta proporcionan a la Universidad una amplia variedad de recursos educativos, y es una pena que, tras hacer una gran inversión, no se aproveche. Con este trabajo se ha hecho un gran aporte al laboratorio de maquinas y motores térmicos.

El empleo de bancos de ensayo como este proporciona una visión global de las ventajas que tiene el aprovechamiento de energias residuales. Por ello, es de vital importancia matener los equipos en buen estado, y utilizarlos con fines pedagógicos y de investigación para que todos comprendan la importancia de buscar alternativas al uso de energia no renovable.

4. REFERENCIAS.

Alfa Laval Iberia S.A.: http://www.alfalaval.es/

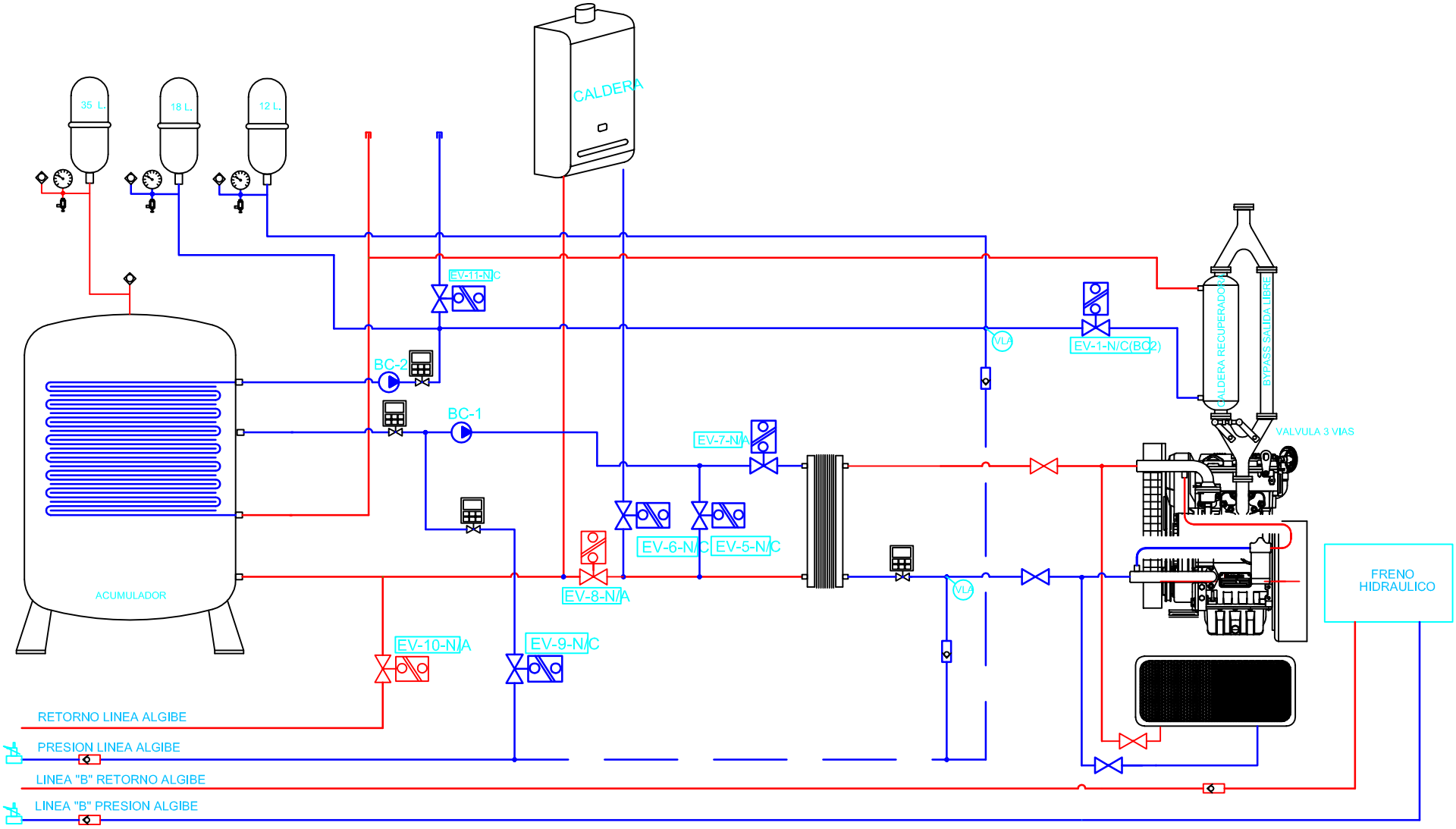
Salvador Escoda S.A.: http://www.salvadorescoda.com/

Ferroli España S.L.U., Grupo Ferroli: http://www.ferroli.es/

Wilo Ibérica S.A.: http://www.wilo.es/

Industrias Ibaiondo S.A.: http://www.ibaiondo.es/

ii. Manual de funcionamiento



Esquema general modificado de la instalación			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 2	Fecha: 29/10/2016

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 23
1.1. Elementos de la instalación. 26
2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS ELEMENTOS 27
2.1. Motor de combustión interna alternativa 27
2.2. Dinamómetro hidraúlico. 28
2.2.1. Grupo rotor: 30
2.2.2. Grupo estator: 30
2.2.3. Grupo ajuste de carga: 30
2.2.3.1. Control del grupo remoto: 30
2.2.4. Grupo indicador: 30
2.2.4.1. Indicador digital: 30
2.2.4.2. Balanza estática y tara: 31
2.2.5. Estructura portante: 31
2.2.6. Grupo de amortiguación: 31
2.3. Intercambiador de placas. 32
2.4. Caldera de recuperación. 33
2.5. Acumulador. 34
2.6. Caldera auxiliar. 35
2.7. Sistema de refrigeración. 36
2.8. Bombas. 38
2.8.1. BC-1: WILO MHI403 39
2.8.2. BC-2: WILO MHIL303 41
2.9. Circuito eléctrico. 43
2.10. Elementos auxiliares. 43
2.10.1. Vasos de expansión: 44
2.10.2. Válvula de llenado automático: 45
2.10.3. Grupo de seguridad manométrico: 46
2.10.4. Válvula de tres vías: 46
2.10.5. Caudalímetros: 47
2.10.6. Válvula de retención: 48
2.10.7. Válvula de regulación de presión: 48

2.10.8. Electroválvulas: 49
2.10.9. Termosensores: 51
3. FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN. 52
3.1. Bloque motor-freno hidráulico. 52
3.2. Bloque intercambiador de calor (refrigeración del motor). 53
3.3. Bloque simulación de carga termica (sobrecalentamiento en el acumulador). 54
3.4. Bloque activación seguridad térmica en el motor. 54
3.5. Bloque recuperación de calor de gases de escape. 55
3.6. Bloque refuerzo caldera de gas. 56
4. PUESTA EN MARCHA Y PARADA DE LA INSTALACIÓN. 57
4.1. Puesta en marcha de la instalación. 57
4.2. Alcance de la temperatura de trabajo. 60
4.3. Parada de la instalación. 60

1. INTRODUCCIÓN

Esta instalación busca como principal objetivo la recuperación de energías residuales procedentes de la combustión sobre maquinas primarias, beneficiando el balance de rendimiento de las mismas, y simultáneamente reduciendo el impacto térmico ambiental. Independientemente del esquema seleccionado, en el que se ha cuidado una amplia flexibilidad para la combinación de circuitos, las oportunas válvulas de seccionamiento nos permitirán generar variadas prácticas, independientemente del rango térmico que seleccionemos, incrementando la potencia productiva de acuerdo con aquellos circuitos que en cada caso aconsejen la aplicación si damos variados supuestos: acumulación rápida, mantenimiento de la demanda, alimentación directa, etc.

Como elemento primario de esta instalación, contamos con un motor de combustión interna alternativa de la que podremos extraer esas segundas fuentes de calor, que con valores muy importantes, cederían esta energía.

Esta energía está muy orientada a la producción de aguas calientes sanitarias, regenerada con valores térmicos de alta temperatura, recuperados directamente de los gases de escape, donde por términos generales podremos contar con un valor entre 450 y 600 ºC, y que mediante la caldera adecuada podremos generar un salto térmico muy útil en aplicaciones industriales y grandes consumos.

Como ejemplo de donde se podría implantar una instalación similar, podríamos suponerla en cualquier explotación del sector terciario (hoteles, residencias, colegios mayores, etc.), donde se produzcan demandas térmicas de muy variable rango y cuya respuesta debe generarse casi en tiempo real, prescindiendo de grandes acumulaciones en volumen con aguas calientes, que además del coste inicial de su cambo de estado, tienen un segundo coste añadido por el mantenimiento del gradiente térmico exigible.

1.1. Elementos de la instalación.

La instalacion se compone de los siguientes elementos:

- MCIA
- Freno dinamométrico
- Sistema de refirgeracion
- Intercambiador de calor (absorbedor de calor de la refrigeración del motor, agua-agua)
- Caldera de recuperación (absorbedor de calor de los gases de escape, agua-aire)
- Calentador de apoyo
- Acumulador
- Bombas para impulsión del agua

Se observa en el esquema de la instalación que en el caso presente se ha implantado otra máquina de combustión y producción directa a la aportación térmica (caldera auxiliar), que instalada como elemento de refuerzo plantea aportaciones complementarias osustitutivas, como puede ser el incremento térmico puntual o el

mantenimiento de valores con menor consumo cuando no se dispone de la principal energía recuperada *del* motor.

Tras el previo estudio del funcionamiento de la instalación original, se ha procedido a la modificación de esta, para la optimización de la misma

La disposicion y conexión de los diferentes elementos, tanto en su forma original como tras la modificación, puede verse en los planos 1: “Esquema general original de la instalación”, y 2: “Esquema general modificado de la instalación”, incluidos dentro del apartado iv. Esquemas de la instalación.

2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS ELEMENTOS

2.1. Motor de combustión interna alternativa

La instalación cuenta con un MOTOR IVECO SOFIM MODELO 8140.43C de inyección mecánica, cuyas características específicas se desarrollan en la siguiente enumeración:

- Ciclo: diesel de 4 tiempos
- Alimentación: sobrealimentado
- Inyección: directa
- Nº de cilindros: 4 en línea
- Diámetro: 94.4
- Carrera: 100mm
- Cilindrada total: 2800 cm^3
- Relación de compresión: 18.5
- Potencia máxima: 75.5-80.5 kW a 3600 rpm.
- Par máximo: 250 N·m a 1800 rpm.
- Régimen mínimo del motor en vacío: 750±25 rpm.
- Régimen máximo del motor en vacío: 4200±50 rpm.
- Presión en el P.M.S.: 20±2.6 bar

- Presión mínima admisible en el P.M.S.: 16 bar

El motor posee los siguientes sensores para controlar los gradientes térmicos y de presion, que se ven reflejados en el panel de control del motor térmico:

- **Termoresistencia TR-3:** Señal de control analógico de temperatura del motor.
- **Manocontacto M-1:** Señal de control analógico de presión de aceite en el motor, con alarma bajo presión mínima.

2.2. Dinamómetro hidraúlico.

El freno dinamométrico hidráulico del que dispone la instalación ha sido diseñado para medir la potencia de movimiento de toda clase de motores, así como de varias turbinas de gas y sistemas de transmisión. El dinamómetro hidráulico HD 5.0 utiliza elementos de absorción de agua, proporcionando la unión entre el estator y la toma de fuerza de rotor del motor.

Tanto el rotor como el estator están fabricados en fundición de acero inoxidable de precisión proporcionando así una excepcional resistencia a la erosión y la corrosión.

El rotor va montado en el eje del dinamómetro manteniendo un alto grado de balance dinámico. La rotación es unidireccional y el dinamómetro va dotado con la junta correspondiente.

El conjunto del eje, elementos de absorción de potencia, rodamientos y sellados van alojados en una caja de fundición.

El dinamómetro va dotado de un módulo de instrumentación con indicadores digitales de par y velocidad.

- El par se mide mediante una célula extensiométrica de precisión.
- La velocidad del eje del dinamómetro va medida por un sistema de pulsos mediante rueda dentada.
- La potencia absorbida por el dinamómetro es controlada mediante la variación de la cantidad de agua circulando en el rotor y el estator utilizando una válvula motorizada de control remoto.

MODELO	PAR MAX.	POTENCIA MAX.	VELOCIDAD MAX.	MOMENTO DE INERCIA
5.0	265 Nm	160 BHP	8000 rpm	0.04468 kg m^2

La potencia del dinamómetro es indicada en la unidad de control mediante un voltímetro/amperímetro.

Precisión:

- Medida de par 0.5% de la lectura del par máx.
- Medida digital de velocidad 1% rev/min.
- Analógico: 1.5% de la deflexión máxima.
- La precisión va referida a un cambio de temperatura de 10 ºC.

El dinamómetro, en general, consta de los siguientes elementos:

2.2.1. Grupo rotor:

Consta de un eje impulsor, manguitos sobre ejes,rodamientos de bolas y bridas de acoplamiento.

El eje está fabricado en un acero con alto grado de calidad y mecanización, reduciendo las tolerancias al mínimo. EI impulsor está fabricado en bronce 85:5:5:5. El conjunto va dinámicamente balanceado utilizando una máquina de precisión.

2.2.2. Grupo estator:

Consta de un conjunto de anillos, paletas, extensiones de ejes, conexiones de agua, etc. Las paletas y anillos están fabricados enbronce 85:5:5:5. Todo el conjunto va equilibrado dinámicamente.

2.2.3. Grupo ajuste de carga:

Consta de compuertas de acero que soportan el mecanismo de accionamiento. Las compuertas están realizadas en material metálico y se componen de impulsor y paletas con anillos.

2.2.3.1. Control del grupo remoto:

Consta de dos compuertas de fundición con soportes de accionamiento del mecanismo. Los engranajes del motor giran en ambas direcciones. Para alimentar el movimiento se han dispuesto dos interruptores de limitación de velocidad. Así los ajustes de carga y descarga pueden ser hechos a distancia según convenga.

2.2.4. Grupo indicador:

El grupo indicador consta de un puente de pesaje fabricado en canales MS que soportan los mecanismos de indicación. Los mecanismos de indicación constan de una balanza dinamométrica circular y un brazo de conexión con extensión al eje.

2.2.4.1. Indicador digital:

Se trata de una célula de carga tipo STRAIN GUAGE utilizada para medir la reacción y que va conectada al brazo de carga en una longitud definida.

2.2.4.2. Balanza estática y tara:

Antes de conectar el dinamómetro al movimiento primario debería leerse “0”, siendo importante que el cero pueda leerse bajo condiciones de operación del dinamómetro, es decir, el depósito de amortiguación debería estar limpio y lleno de aceite para un mínimo de posición de amortiguación, y el agua debería fluir a través del dinamómetro, pero con una posición de carga ajustada al mínimo. Esta posición de lectura de"0" está definida como de balanceado estático del dinamómetro. Para facilitar el ajuste de la tara hay dos lectores que pueden ser ajustados aunaposición de conexión "0".

Generalmente, la unidad de medida de carga HD está diseñada para funcionar conjuntamente con el cuadro de pesaje y brazo de carga.

Antes de que el medidor sea puesto bajo carga, la flecha del indicador debe leer “0”.Si se encuentra algún fallo en el modo de calibración, éste deberá ser corregido ajustando el desplazamiento de la posición de la palanca en el interior del mecanismo de pesaje.

2.2.5. Estructura portante:

El grupo de soporte consiste en una placa de fundición de hierro que soporte la potencia de absorción y los conjuntos indicadores. La placa base va mecanizada en la parte superior y en la parte inferior.

2.2.6. Grupo de amortiguación:

El depósito de amortiguación está realizado en hierro fundido y va soportado libremente entre dos abrazaderas por medio de cojinetes de autoajuste. La abrazadera superior va conectada al cuerpo del dinamómetro y la inferior a la placa base. Una varilla con forma de pistón va conectada a la abrazadera superior con ayuda de un mecanismo en forma de tenedor. La varilla del pistón pasa a través de la cubierta del amortiguador. El pistón va conectado al extremo de la varilla del pistón. El cilindro de amortiguación va relleno con aceite en el cual el pistón se

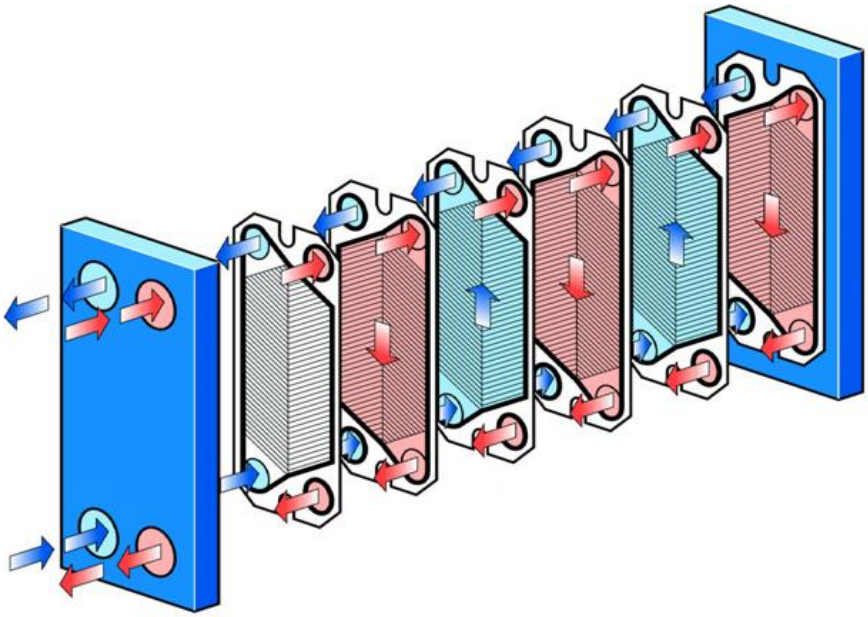
desplaza. Este dispositivo ha sido realizado sobre la varilla del pistón para ajustar la amortiguación de acuerdo a las vibraciones y por medio de una tuerca en espiral.

2.3. Intercambiador de placas.

El intercambiador de calor instalado es un intercambiador de placas, compuesto de 40 placas metálicas acanaladas con orificios para permitir el paso de dos fluidos (en el caso de nuestra instalación agua-agua). El conjunto de placas está montado entre una placa de bastidor fija y otra placa de presión móvil y se mantiene apretado mediante pernos tensores. Las placas están provistas de una junta estanca que sella el canal entre placas y envía los fluidos hacia canales alternos.

Las placas y la placa de presión se encuentran en suspensión de una barra sustentadora y colocadas con una barra guía inferior, las cuales están fijadas a la columna de apoyo. Los pernos tensores están equipados con cojinetes de bola anulares para facilitar la apertura y el cierre de la unidad.

El acanalado de las placas facilita el paso entre las mismas, sirve de apoyo entre unas y otras y aumenta la turbulencia, dando como resultado una transferencia de calor eficaz. Las salidas y juntas estancas de los extremos están colocadas de modo que los dos medios transmisores fluyen a través de canales alternos.



Las placas tienen un ángulo en forma de V para obtener una resistencia máxima en funcionamiento a alta presiones, son reversibles y tienen flujo paralelo.

- Presión de diseño/prueba: 10/15 bar
- Volumen máximo: 38 litros
- Temperatura min./máx.: 110/150 ºC

2.4. Caldera de recuperación.

La caldera de recuperación ha sido diseñada exclusivamente para la instalación. El plano de diseño de la caldera se adjunta en el apartado v. Planos, incluyendo la vista general de la misma, el interior y la conexión a la válcula de tres vías que cotrola el escape de los gases directamente al ambiente o pasando a través de la caldera.

2.5. Acumulador.

La instalación cuenta con un interacumulador de pie con un serpentín, que es un depósito específico para producción y acumulación de ACS, fabricado en acero vitrificado, s/din 4753.

- Capacidad: 500 litros
- Temp. máx. acum. A.C.S.: 90 ºC
- Presión máx. acum.: 10 bar
- Temp. máx. primario: 200 ºC
- Presión máx. primario: 25 bar
- Superficie de intercambio: 2 m^2
- Dimensiones: 770x1690 mm

2.6. Caldera auxiliar.

La caldera auxiliar instalada es una caldera mural de gas mixta y atmosférica de tiro forzado y cámara de combustión cerrada.

- Dimensiones: 760x460x363 mm
- Peso: 39 kg
- Potencia máx.: 30 kW
- A.C.S para un salto térmico de 25 ºC: 12.7 litros/min

2.7. Sistema de refrigeración.

El sistema de refrigeración del motor es del tipo circulación forzada y está constituido por:

- Depósito expansor, cuyo tapón incorpora dos válvulas, una de descarga y otra de inducción.
- Un radiador cuya función consiste en disipar el calor que el refrigerante toma del motor.
- Un interruptor termométrico montado en la base del radiador; este activa y desactiva el ventilador electromagnético.
- Un ventilador electromagnético que se activa cuando la temperatura de refrigerante alcanza los 90 ºC y se desactiva a los 80 ºC.
- Un intercambiador de calor para enfriar el aceite del motor.
- Una bomba de agua tipo centrífuga impulsada por la correa de mando del alternador. En su eje incorpora el buje de acoplamiento del ventilador.
- Un termostato de tres vías que regula la circulación del líquido refrigerante.

Con temperatura del refrigerante por debajo de 80 ºC, la bomba de agua hace recircular el refrigerante que contiene el motor y la calefacción, refrigerando el bloque de cilindros y la culata (termostato cerrado).

Con el refrigerante a temperatura de normal funcionamiento (termostato abierto), el termostato permite el paso del refrigerante calentado por el motor hacia el radiador, la bomba de agua hace circular todo el refrigerante del circuito.

La presión del circuito, debido a las variaciones de temperatura, es regulada mediante las válvulas de descarga e introducción en el deposito expansor.

La válvula de descarga posee una doble función:

1. Mantener la instalación bajo ligera presión de manera que aumente el punto de ebullición del líquido refrigerante.
2. Descargar al exterior el exceso de presión que pueda producirse en caso de que el líquido refrigerante alcance una temperatura excesiva.

La válvula de introducción permite el trasiego del líquido refrigerante del depósito de expansión al radiador cuando, dentro de la instalación, se crea un vacío a causa de la reducción de volumen del líquido refrigerante al enfriarse.

- Apertura de la válvula de descarga: 1±0.1 kg/cm^2
- Apertura de la válvula de introducción: 0.005±0.02 kg/cm^2 (vacío)

2.8. Bombas.

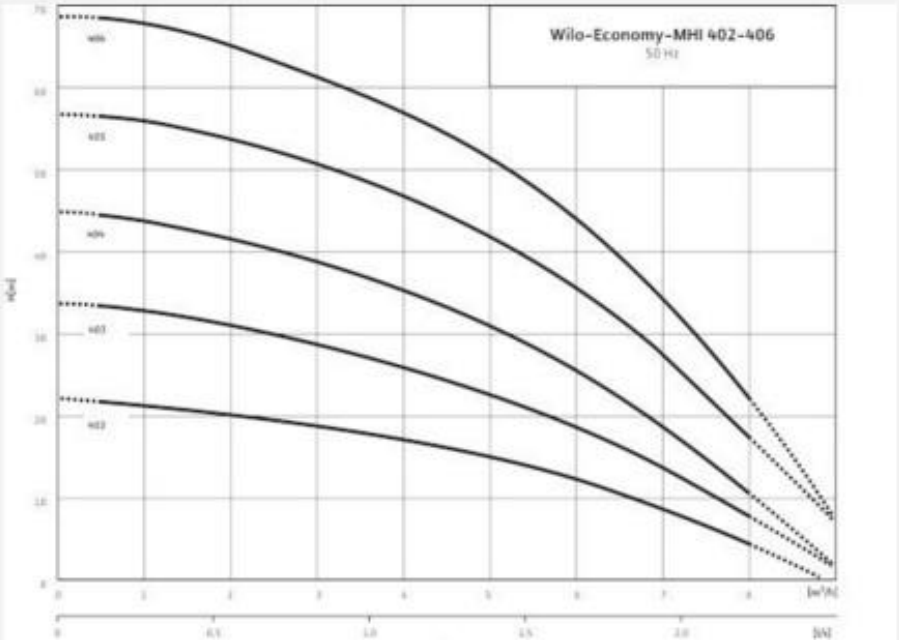
La instalación cuenta con dos bombas circuladoras con las siguientes características:

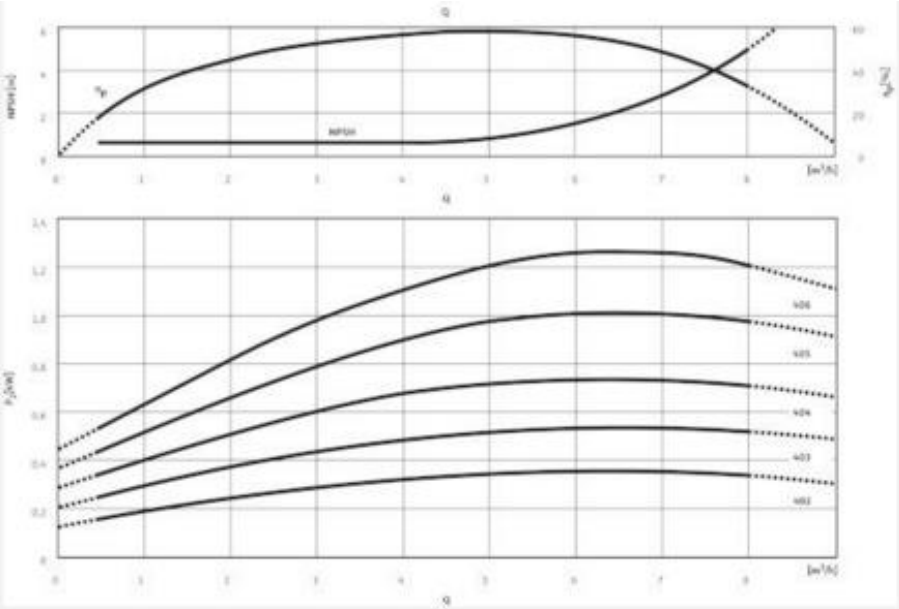
- Bomba centrífuga de alta presión horizontal, multietapas y de aspiración normal, de estructura compacta y con boca de aspiración horizontal y de impulsión vertical.
- La construcción de esta bomba es compacta con un eje de bomba continuo y un cierre mecánico independiente del sentido de giro.
- La bomba es apta para el abastecimiento de agua y el aumento de presión, los sistemas de circulación industriales, el agua de proceso y los circuitos de agua de refrigeración.
- También se puede utilizar en sistemas de lavado y de riego.

2.8.1. BC-1: WILO MHI403

Potencia		
Temperatura del fluido	*T*	-15...+90 °C
Temperatura ambiente máx.	*T*	40 °C
Presión nominal		PN bar
Presión de entrada máx.	*H*	6 bar
Presión máxima de trabajo	p_{max}	10 bar
Motor		
Clase de aislamiento		F
Tipo de protección		IP X4
Alimentación eléctrica		1~230 V, 50 Hz
Potencia nominal del motor	P_2	0,55 kW
Consumo de potencia	P_1	0,84 kW
Intensidad nominal 1~230 V, 50 Hz	I_N	4,0 A
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 50\%}$	59,2 %
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 75\%}$	64,4 %
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 100\%}$	63,9 %
Conexiones		
Diámetro nominal de brida ovalada		G 1
Diámetro nominal de brida ovalada		G 1¼
Nivel de presión nominal (lado impulsión)	*PN*	PN 10
Nivel de presión nominal (lado aspiración)	*PN*	PN 10

Curvas características



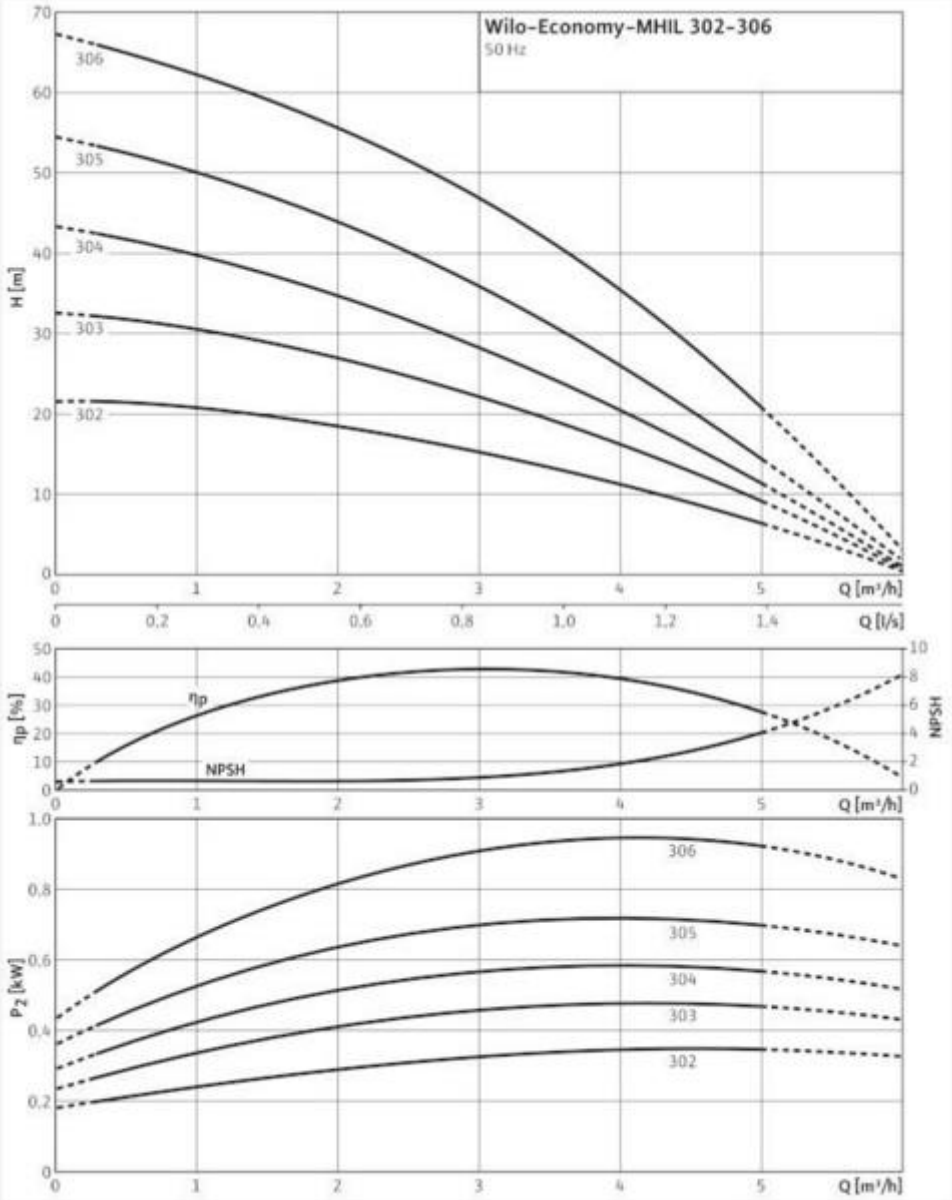


Curvas características según ISO 9906:2012, 3B

2.8.2. BC-2: WILO MHIL303

Fluidos admisibles		
Agua potable, agua de calefacción, agua para uso industrial		•
Condensado		–
Mezclas de agua/glicol (máx. 40 %; a partir de un 10 % de aditivo se deben comprobar los datos de impulsión)		•
Otros fluidos de poca densidad (que no tengan componentes corrosivos o de fibra larga, y que no dañen los materiales utilizados)		•
Potencia		
Temperatura del fluido	T	-15...+90 °C
Temperatura ambiente máx.	T	40 °C
Presión nominal		PN bar
Presión de entrada máx.	H	6 bar
Presión máxima de trabajo	p_{max}	10 bar
Velocidad nominal	n	2900 rpm
Motor		
Clase de aislamiento		F
Tipo de protección		IP X4
Alimentación eléctrica		1~230 V, 50 Hz
Potencia nominal del motor	P_2	0,55 kW
Consumo de potencia	P_1	0,91 kW
Intensidad nominal 1~230 V, 50 Hz	I_N	4,1 A
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 50\%}$	59,2 %
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 75\%}$	64,4 %
Rendimiento del motor	$\eta_{m\ 100\%}$	63,9 %
Conexiones		
Nivel de presión nominal (lado impulsión)	PN	PN 10
Nivel de presión nominal (lado aspiración)	PN	PN 10

Curvas características De 2 polos/50 Hz



Curvas características según ISO 9906, clase 2

2.9. Circuito eléctrico.

El control de la instalación se realiza a través de un panel de control, que consta de dos circuitos independientes.

En el lado izquierdo del panel de control se encuentran los controles del circuito hidráulico, correspondiente a la activacion de electrovalvulas, caudalimetros, bombas y calderas auxiliar y de recuperacion.

En el lado derecho se encuentra el arranque del motor y los lectores analógicos de los sensores de temperatura y presion nombrados anteriormente (ver apartado 2.1 Motor de combustión interna alternativa).

En el apartado iv. Esquemas, aparecen los circuitos eléctricos correspondientes a estas dos partes, representados en los esquemas 3, 4 y 5.

2.10. Elementos auxiliares.

El circuito de distribución de agua cuenta con diferentes elementos de control y regulación.

2.10.1. Vasos de expansión:

La instalación consta de tres vasos de expansión de diferente capacidad.

- Vaso de expansión 12CMF

Presión Max.Bar	5 BAR
Temperatura Mínima/Máxima	-10+100ºC
Capacidad	12 L
Precarga	1,5 BAR
Dimensiones	270x310
Conexión Agua R	¾
Peso Kg.	3.20

- Vaso de expansión 18 CMF

Presión Max.Bar	5 BAR
Temperatura Mínima/Máxima	-10+100ºC
Capacidad	18 L
Precarga	1,5 BAR
Dimensiones	270x415
Conexión Agua R	3/4
Peso Kg.	4.00

- Vasode expansión 35 CMF

Presión Max.Bar	5 BAR
Temperatura Mínima/Máxima	-10+100ºC
Capacidad	35 L
Precarga	1,5 BAR
Dimensiones	360x475
Conexión Agua R	3/4
Peso Kg.	7.00

2.10.2. Válvula de llenado automático:

La instalación cuenta con dos válvulas de llenado automático en la línea de presión del aljibe.Su funcion es la de mantener constante la presion de agua a la instalacion,filtrandola antes de reducirla a traves de un filtro en la parte inferior de la

valvula. Tiene la posibilidad de cerrar el flujo de agua y con valvula antirretorno incorporada.

2.10.3. Grupo de seguridad manométrico:

La instalación cuenta con uno por cada vaso de expansión. Regulan la presión dentro de los vasos y controlan su llenado y vaciado.

2.10.4. Válvula de tres vías:

Controla el paso de los gases de escape a través de la caldera de recuperación. Si no necesitamos calentar el agua, la válvula se abre y los gases salen directamente al exterior a través de un bypass salida libre.

En el apartado v. Planos se puede observar en el plano 4 la disposicion en planta y alzado del sistema de ebacuacion de los gases procedentes de la combustión.

2.10.5. Caudalímetros:

La instalacion cuenta con cuatro caudalimetros, los cuales pueden reflejar su valor medido en el cuadro sinoptico de la instalación, accioando el interruptor que controla cual queremos representar en el display.

- Entrada de agua fría en el intercambiador.
- Salida de agua fría del intercambiador.
- Salida de agua fría del acumulador.
- Agua que se toma del aljibe hacia el intercambiador.

2.10.6. Válvula de retención:

Controlan la dirección del agua, para que esta no se vea modificada al accionar las diferentes válvulas.

2.10.7. Válvula de regulación de presión:

Existe una en cada línea de presión del aljibe. En total la instalacion cuenta con dos lineas de presion, con sus correspodientes lineas de retorno.

La linea superior corresponde con la de llenado del deposito acumulador, mientras que la segunda se corresponde con el llenado del circuito hidraulico del dinamómetro.

2.10.8. Electroválvulas:

Las electrovalvulas controlan el paso del agua por las diferentes partes de la instalación. Tras las modificaciones realizadas en la misma, se procede a enumerar las electroválvulas con las que cuenta la instalacion, a su vez que se relacionan y comparan con las que habia en la instalacion original.

EV	Acción	Original
EV -1 N/C	Controla el paso de agua a través de la caldera recuperadora de gases de escape y pone en marcha la circulación de la bomba 2. Debe activarse a la vez que se abre la válvula desviadora de gases de escape permitiendo el paso de los gases de escape a través de la caldera recuperadora. Si la sonda J (salida de agua de la caldera de recuperación) detecta más de 95ºC entonces EV-1 debe cerrarse haciendo que la válvula desviadora de gases envíe los gases al escape de la atmósfera sin pasar por la caldera.	No se ha modificado
EV -2 N/A	Al cambiar el sistema de refrigeración, esta electroválvula queda desactivada a efectos prácticos.	**Control del agua de refrigeración del motor** Está situada a la entrada del agua de refrigeración del motor y se activa con una temperatura superior a 90ºC en la sonda B (salida del agua de refrigeración del motor). Activa simultáneamente la bomba de circulación del circuito acumulador-intercambiador, arrancando o parando la bomba de acuerdo con la temperatura a la cual retorne el *agua fría* de la refrigeración del motor.
EV -3 y EV – 4 **Ambas N/C**	En la instalación actual estas válvulas están desmanteladas, ya que cuando se recalentaba el agua de refrigeración entrante (si entraba a más de 90ºC) entonces se cerraba la EV-2 y se abrían estas que daban paso a agua directamente desde el aljibe al motor, produciendo una gran caída de temperatura que no es buena para el funcionamiento de este. En su lugar, el control de la electroválvula 4 se emplea en controlar el accionamiento de la bomba 1.	En condiciones de funcionamiento normal no están activas. Se utilizan como sistema de seguridad antirrecalentamiento. Al abrirse éstas, se cierra simultáneamente la EV-2. Por lo tanto, cuando se pone en marcha el sistema antirrecalentamiento, el agua de refrigeración del motor ya no circula por el intercambiador, sólo entra del aljibe y sale al aljibe.
EV -5 N/C y EV -7 N/A	Estas dos electroválvulas funcionan en conjunto para aislar el sistema del acumulador del resto de la instalación.	No se ha modificado
EV -6 N/C y EV -8 N/A	Estas electroválvulas también funcionan en conjunto, y están asignadas a la activación del circuito de la caldera auxiliar.	No se ha modificado

EV -9 N/C	Es la encargada de llenar el circuito del depósito acumulador, necesario para que la instalación funcione. Debe activarse en conjunto con la EV-10, que cierra el retorno al aljibe.	No se ha modificado
EV -10 N/A	Cierra el retorno al aljibe del agua que entra en el depósito acumulador.	Originalmente esta válvula estaba considerada como normalmente cerrada, cuando esto no era así, lo que provoca que el circuito del depósito acumulador se vaciara siempre que esta válvula no estuviera activada. Por ello, lo primero que hay que hacer para poner en marcha la instalación es activar esta válvula para cerrar el retorno al aljibe.
EV -11 N/C	Únicamente se emplea en el caso de que se instalara una unidad de generación, como una turbina, para controlar la activación de esta parte de la instalación.	No se ha modificado

2.10.9. Termosensores:

Sonda	Acción
A	Evaluación de la temperatura a la que salen los gases de escape del motor. Posee una válvula desviadora de gases, hacia el escape a la atmósfera o hacia la caldera de recuperación.
B	Evaluación de la temperatura del agua de refrigeración a la salida del motor. Vigilancia de seguridad antirrecalentamiento.
C	Temperatura del agua de refrigeración del motor al salir del intercambiador de placas.
D	Temperatura del agua de refrigeración del motor a la entrada del intercambiador de placas.
E	Temperatura del agua que sale del intercambiador de placas a la entrada del acumulador
F	Temperatura del agua que sale de la caldera de recuperación de calor de gases de escape a la entrada del acumulador
G	Temperatura del agua proveniente del intercambiador de placas a la salida del acumulador
H	Temperatura del agua proveniente de la caldera de recuperación de calor de gases de escape a la salida del acumulador
I	Temperatura del agua dentro del depósito acumulador
J	Temperatura del agua a la salida de la caldera de recuperación

3. FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.

La instalación comprende diferentes bloques que pueden funcionar independientemente a los demás, y que pueden explicarse por separado para la mejor comprensión del funcionamiento de la misma.

En primer lugar se establece una clara diferenciacion entre el sistema motor-freno dinamométrico y el resto de la instalacion, que se centra en la cogeneración.

El circuito que alimentación al freno funciona de modo independiente al resto. Hay que abrir las llaves de paso de entrada y retorno al aljibe.

En el apartado iv. Esquemas, se recogen los diferentes bloques de los que se compone la instalación de cogeneración.

3.1. Bloque motor-freno hidráulico.

Una vez arrancado el motor, se procede a acelerarlo hasta una velocidad aproximada de 3000 r.p.m. Una vez alcanzada esta velocidad, se incrementa gradualmente la carga del freno hidráulico, presionando para ello el pulsador “LOAD” situado en el sistema de adquisición de datos del exterior de la cabina.

Si se va a trabajar sólo y exclusivamente con el bloque motor-freno hidráulico, es necesario posicionar las válvulas manuales de la refrigeración del lado del radiador para evitar sobrecalentamientos. Con este sistema es posible hacer ensayos de motores, para comprobar su velocidad, potencia y consumo, y poder representar sus curvas de isoconsumo.

El sistema de adquisición de datos cuenta con dos display que dan la lectura de la velocidad de giro del motor en r.p.m y el par aplicado por el freno hidráulico en N·m. Con estas lecturas se puede conocer, por tanto, la potencia absorbida por el dinamómetro hidráulico, utilizando la siguiente expresión:

$$kW = \frac{T \cdot N}{9549.305}$$

donde T expresa el par en N·m y N la velocidad de giro del motor en r.p.m.

En cuanto al consumo de combustible del motor,mediante la selección de la válvula de tres vías es posible alimentar el motor directamente desde el depósito o a través de las ampollas calibradas. Utilizando un cronómetro es posible medir el consumo de una cierta cantidad de combustible respecto al tiempo.En el esquema 6 del apartado iv se representa dicho sistema.

El sistema tambien esta preparado para la instalacion de un medidor electrónico de combustible de línea de retorno de combustible que iría conectado alsistema de adquisición de datos.

3.2. Bloque intercambiador de calor (refrigeración del motor).

Este bloque se representa en el esquema 7 del apartado iv. El intercambio de calor funciona entre el agua proveniente del motor y el agua proveniente del acumulador.

La linea de presion del aljibe “B” cuenta con una valvula de llenado automatico, con sistema de antirretorno, que se encarga de llenar el circuito de refrigeracion del motor con el intercambiador de calor. El agua pasa por el motor, se calienta, pasa por el intercambiador, donde se enfría, y vuelta a empezar.

Las temperaturas normales de funcionamiento son 92ºC a la entrada del intercambiador (sonda D) y 80ºC a la salida del intercambiador (sonda C). Este circuito posee un termostato de membrana que regula la temperatura mínima del agua a la entrada del circuito de refrigeración del motor. Este sistema queda anulado con la modificación realizada al sistema de seguridad termica del motor, explicado en el apartado 3.3. En el circuito de refrigeración existe una bomba que envía el fluido al intercambiador de placas de forma continua, con un régimen de caudal variable según la velocidad de giro del motor.

Del otro lado del intercambiador, el agua sale del acumulador, pasa por el intercambiador y vuelve al acumulador, en circuito cerrado. Este circuito debe

llenarse previamente mediante la apertura de la linea de presión del aljibe “A” y la activación de las electrovalvulas 9 y 10. Las temperaturas normales de funcionamiento son 58ºC en el agua que sale del acumulador hacia el intercambiador, y 86ºC en el agua que entra en el acumulador proveniente del intercambiador.

3.3. Bloque simulación de carga termica (sobrecalentamiento en el acumulador).

Este bloque se representa en el esquema 8 del apartado iv. Si la sonda I detecta que la temperatura del agua del acumulador es excesiva, se debe desactivar la electroválvula que lo comunica con el aljibe (La electroválvula 10 debe permanecer siempre activada para que el circuito intercambiador-acumulador sea cerrado, solo se desactivará en este caso), descargando agua caliente. A su vez debe aislarse el circuito acumulador del intercambiador de calor, activando las válvulas 5 y 7. Esto simula una posible carga térmica.

El agua caliente que va a entrar al acumulador se va hacia el aljibe. Sale agua del acumulador y se toma agua del aljibe, mediante la activacion de la electrovalvula 9.

3.4. Bloque activación seguridad térmica en el motor.

Tras un estudio del funcionamiento de la instalación, este bloque se modificó porque creaba problemas al motor. El esquema original del bloque se corresponde con el esquema 9 del apartado iv.

Originalmente se trataba de un circuito auxiliar que tomaba agua directamente del aljibe, para refrigerar el motor, de modo que el salto térmico era muy grande y permitía reducir rápidamente el exceso de temperatura.

En este caso el circuito que alimenta al freno no funcionaba de modo independiente al resto, utilizándose éstas tomas para obtener agua fría del aljibe y refrigerar el motor rápidamente, pero ese salto térmico repentino en el motor podría

acarrear grandes problemas para el mismo, por lo que se ha procedido ha mejorar el sistema.

Actualmente, el sistema funciona de manera diferente. El nuevo esquema de la instalacion se corresponde al esquema 10 del apartado iv.

Se han instalado unas valvulas manuales que conectan la entrada y salida del agua del motor con dos circuitos independientes. Por un lado, se conecta el motor al intercambiador de calor en un circuito cerrado. Cuando el motor alcanza excesivas temperaturas, se procederá a cambiar la posicion de las valvulas manualmente, para comunicar el circuito de agua del motor con el sistema de refrigeración independiente, cuyas caracteristicas se han expuesto en el apartado 2.7.

3.5. Bloque recuperación de calor de gases de escape.

Este bloque se representa en el esquema 11 del apartado iv. El agua del serpentín sale del acumulador, pasa por la caldera recuperadora de gases, y vuelve al serpentín del acumulador, en circuito cerrado. Las temperaturas normales de funcionamiento son 55ºC en el agua que sale del serpentín del acumulador hacia la caldera, y 89ºC en el agua que entra en serpentín del acumulador proveniente de la caldera. Los gases de escape entran en la caldera de recuperación aproximadamente a 550ºC.

Cuando el agua esta muy caliente (más de 95ºC), la válvula EV-1 se cierra, y la valvula de tres vías cambia su posición dejando que los gases salgan directamente al exterior sin pasar por la caldera.

El agua caliente se podría utilizar conectando un dispositivo a continuación de la válvula EV-11, que está normalmente cerrada, para el aprovechamiento de la misma, pero no es el caso estudiado en este banco de prácticas.

3.6. Bloque refuerzo caldera de gas.

Este bloque se representa en el esquema 12 del apartado iv.El agua que sale del acumulador va hacia el intercambiador. Cuando la sonda G detecta que el agua no entra al acumulador con la temperatura optima (se supone 86ºC la temperatura optima a la que debe llegar el agua al acumulador) se activan las electrovalvulas 6 y 8.

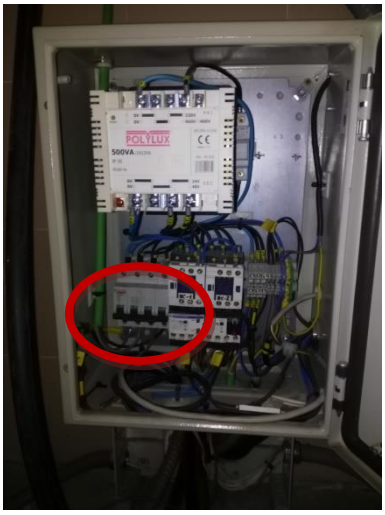
Entonces se activa la caldera auxiliar, para lo cual debe abrirse la toma de gas, que calienta el agua hasta la temperatura idónea para el correcto funcionamiento del circuito.

4. PUESTA EN MARCHA Y PARADA DE LA INSTALACIÓN.

A continuacion se describe el sistema de arranque y parada de la instalacion.

4.1. Puesta en marcha de la instalación.

1. Antes de nada, hay que comprobar el estado de la batería que proporciona energía al motor, ya que este no tiene alternador. Este procedimiento se decribe en el manual de mantenimiento de la instalación, apartado 1.1.3. batería. Una vez comprobado, se conectan los bornes de la bateria y se fija al sistema de anclaje del motor, para que las vibraciones no desplacen la bateria.
2. Comprobar el nivel de aceite del motor.
3. Activar la alimentacion de electricidad del acelerador, que también alimenta a los módulos de adquisición de datos, asi como al cuadro sinoptico y al control de mandos de la instalacion.

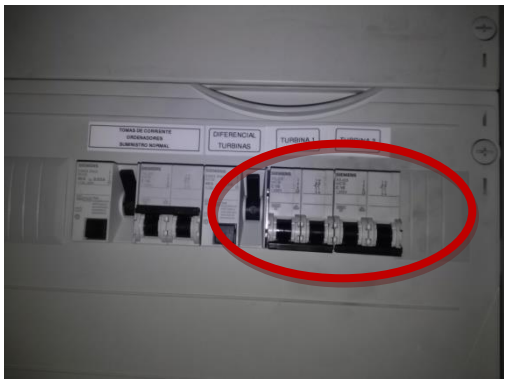


4. Activar posteriormente el sistema de adquisición de datos, para lo que es necesario que la puerta trasera esté bien cerrada, y el diferencial interior, situado en la parte anterior de la puerta del sistema de aquisición de datos, esté pulsado.

5. Comprobar que la instalacion tiene agua. Para ello es fundamental activar la eletrovalvula EV-10, que impide que el agua del acumulador vuelva al aljibe. Esta válvula debe permanecer activa durante el uso del banco de ensayo.
6. Abrir las llaves de paso de las lineas de presión, para que llegue el agua al circuito del acumulador y al freno dinamométrico. Cada una de estas lineas tiene un sistema de medida de presión. Si la linea de presion correspondiente al circuito del acumulador no tiene suficiente presión es indicativo de que el circuito no tiene suficiente agua, por lo que debe activarse la electrovalvula EV-9 para permitir la entrada de agua al circuito.

7. Comprobar si el depósito esta lleno. Éste cuenta con un grupo de seguridad manométrico en la parte superior. Si esta lleno, expulsará agua.

8. Una vez la linea tenga agua, se debe desactivar la electroválvula EV-9 y puede continuarse con el proceso de arraque de la instalación.
9. Comprobar la optima ventilación de la sala. Para ello debe activarse el ventilador de los gases de escape, cuyo diferencial se encuentra situado a la entrada del laboratorio, en un cuadro electrico situado a la derecha de la puerta. El diferencial correspondiente a la cabina donde se situa la instalacion es el denominado “TURBINA 1”, pero puede activarse tambien el denominado “TURBINA 2” para facilitar más la salida de humos.



10. El acelerador cuenta con un interruptor que debe activarse. Una vez esté el motor arrancado, su funcionamiento es simple. Pequeñas pulsaciones a izquierda y derecha frenan o aceleran el motor, no es necesario mantenerlo pulsado.

Con todos estos pasos previos, ya puede arrancarse el motor.

4.2. Alcance de la temperatura de trabajo.

Una vez arrancado el motor, se debe esperar que tome la temperatura optima y alcance la presion adecuada antes de empezar a utilizar el freno dinamométrico. Dicha temperatura es aproximadamente 85 ºC, aunque la temperatura ideal de trabajo se encuentra comprendida entre los 90 y los 100 ºC. La presión apropiada para trabajar es de 3 bar. Ambas lecturas pueden verse en el panel de control del motor térmico.

4.3. Parada de la instalación.

Tras la finalizacion de los ensayos en el banco, es importante no dejar nada conectado dentro de la cabina o del laboratorio. Por tanto, antes de parar el motor, se procederá a quitar la carga del freno dinamométrico mediante el pulsador “UNLOAD” hasta el mínimo. A la vez, hay que desacelerar el motor hasta ralentí, lo que equivale a unas 1000 r.p.m.

Tras esperar a que la temperatura del motor descienda durante unos minutos, se puede apagar el motor, y seguidamente se procederá a desconectar las turbinas de ventilación, el sistema de adquisición de datos, el acelerador y la alimentacion electrica. En este momento, la electroválvula EV-10 vuelve a su estado de reposo

(normalmente abierta) y el deposito acumulador empezará a vaciarse. Es importante no olvidar cerrar las llaves de paso de las lineas de presion del aljibe.

Por ultimo, se desconectan los bornes de la bateria, y se cubre para evitar que se oxide.

iii. Manual de mantenimiento

ÍNDICE

1. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....67
1.1. Mantenimiento del motor.....67
1.1.1. Necesidad de purgado: 67
1.1.2. Sistema de combustible: 68
1.1.3. Batería: 70
1.2. Mantenimiento del freno hidráulico.....71
1.2.1. Suministro de agua: 71
1.2.2. Mantenimiento:.....72
1.2.3. Limpieza:.....74
1.2.4. Diagnosis de averías:.....75
1.3. Mantenimiento del intercambiador de calor. 77

1. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.

Las diferentes partes de la instalación precisan un proceso de mantenimiento acorde a cada una de ellas. A continuación se desarrollan los procesos de mantenimiento correspondientes a los dos elementos fundamentales de la instalación, a saber, el motor y el freno hidráulico.

1.1. Mantenimiento del motor.

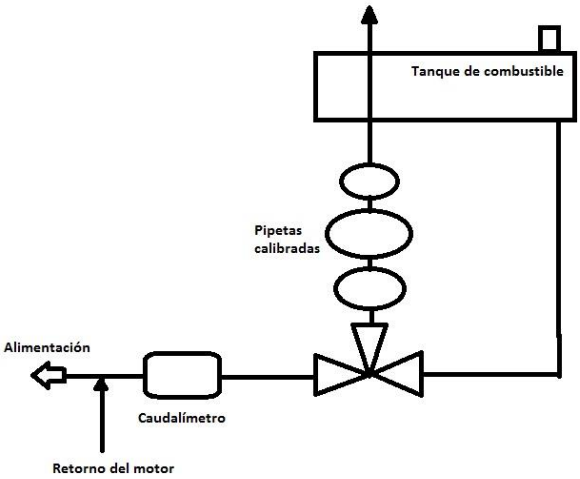
1.1.1. Necesidad de purgado:

El purgado de un motor debe ser realizado en los siguientes casos:

- En motores que han estado mucho tiempo sin trabajar.
- Motores que no poseen bomba autopurgante.
- Cuando se realiza el cambio del filtro de combustible.
- Cuando se agota el combustible y se para el motor.

Se trata de eliminar del circuito de alimentación el aire que pueda existir. Para ello, se deben aflojar los racores de las tuberías de inyectores y hacer girar el motor de arranque hasta conseguir el purgado total del circuito. Es muy importante no olvidar apretar los racores de las tuberías después del purgado.

1.1.2. Sistema de combustible:



El sistema de combustible para los motores a probar con el dinamómetro, consta de un depósito de combustible de unos 55 l de capacidad total, dos dispositivos de medida para consumo de fuel, tubería de alimentación al motor y una válvula de retorno del combustible.

El sistema va dotado de una válvula de retorno para el caso de que el motor proporcione una sobrealimentación desde la bomba. También es posible alimentar el motor en prueba conectando directamente la línea de combustible del tanque, excluyendo los otros sistemas de medida.

El sistema puede ser usado tanto para gasoil como para gasolinas. Se recomienda una limpieza a fondo del depósito y las tuberías cuando se pase de un combustible a otro.

El sistema de medida va dotado de dos filtros; el primero está situado justo debajo del depósito, y el segundo va situado sobre el medidor de combustible, y es adecuado para filtras las partículas más pequeñas que pudieran dañar a éste. Ambos filtros pueden ser reemplazados después de 20 horas de trabajo.

Las ampollas calibradas están fabricadas en vidrio químico. Especialmente el gasoil tiende a dejar grasa y parafina en la superficie del vidrio. Para quitar estas trazas puede utilizarse cualquier disolvente o alcohol.

1.1.3. Batería:

Cuando se retire la batería tras realizar un ensayo, se recomienda utilizar un polímetro en los bornes de la batería para comprobar la carga. Seleccionar corriente continua y 20 V. Si la lectura es inferior a 11 V la batería está descargada.

Si la batería está descargada hay que cargarla mediante un cargador. Conectamos el cargador, que indica el estado de la batería:

1. La batería está deteriorada, hay que cambiarla.
2. La batería está totalmente descargada.
3. La batería tiene un 40% de carga aprox.
4. La batería tiene un 80% de carga aprox.
5. La batería está totalmente cargada.

1.2. Mantenimiento del freno hidráulico.

Este instrumento requiere antención y mantenimiento continuo a fin de evitar cualquier problema.

1.2.1. Suministro de agua:

La cantidad de agua requerida para extraer el calor generado puede ser calculada con bastante precisión. Cada freno absorbe 0.735 kW generados por el freno. Por lo menos este calor debe ser disipado por el agua.

La cantidad de agua suministrada por el dinamómetro debería ser suficiente para proporcionar una salida de temperatura que no exceda los 60 ºC o menos. Una mayor temperatura debería afectar a la seguridad de trabajo del dinamómetro, haciendo decrecer la vida útil debido a la formación en la escala de algunos tipos de problemas de cavitación.

La cantidad de agua requerida por la potencia de una hora depende de la entrada de temperatura del agua suministrada que debería ser limpia, libre de abrasivos e impurezas, y debería permanecer a una presión estable. Si la presión del agua fluctúa puede afectar ala estabilidad del dinamómetro. La presión de entrada máxima del agua medida enel dinamómetro debería ser 1,67 bar para un caudal de 0.01 kg/s.

La presión de trabajo debería ser la suficiente para obtener una velocidad máxima de rotación que haga permanecer inalterada esta presión cuando el dinamómetro trabaje a menor velocidad.

La cantidad de agua requerida por el dinamómetro puede ser calculada siguiendo la fórmula

$$q = \frac{632}{W(T2 - T1)}$$

utilizando unidades métricas donde:

- q es la cantidad de agua expresada en l/h.
- W es la masa de un litro de agua en kg (1 kg).
- T2 es la temperatura de salida máxima de agua del dinamómetro expresada en ºC.
- T1 es la temperatura de entrada de agua del dinamómetro expresada en ºC.

La calidad del agua de refrigeración puede afectar al trabajo del cualquier dinamómetro hidráulico. La calidad del agua para una vida óptima es:

- Temp. máx. de salida de agua: 60ºC
- Valor de pH: 7,4 a 8,4
- Filtración: 185 micrones
- Las partículas en suspensión no deben exceder 1000 ppm.

El volumen de agua requerido para enfriamiento depende de la temperatura del agua suministrada y varía desde 19,5 litros/kWh a 16ºC hasta 39,1 litros/kWh a 38ºC de temperatura de entrada.

La presión del agua va dictada por el par y la potencia absorbida. La presión máxima debería estar por encima de 2,75 bar.

1.2.2. Mantenimiento:

1.2.2.1. Diariamente o cada 16 horas de uso:

- Lubricar todas las juntas del dial, los tornillos de la balanza, los tornillos de las compuertas, ejes, cadenas, correas y, en general, todas las partes en movimiento.
- Limpiar y secar las masas adicionales y las de las balanzas.
- Ajustar cero.
- Rellenar el depósito de amortiguación si fuese necesario.

Engrasar los rodamientos principales al menos una vez la semana y mas frecuentemente cuando se haga un uso consntante del dinamómetro. Es importante impedir que el agua o la suciedad llegue a los rodamientos cubriéndolos con grasa si fuese necesario.

1.2.2.2. Cada tres meses o 1200 horas de uso:

Desmontar los rodamientos de sus alojamientos. Girarlos 25º en el sentido de las agujas del reloj y volverlos a la misma posición.

1.2.2.3. Comprobación de la balanza:

Desconectar la balanza del dinamómetro haciéndola colgar a un cierto nivel. Colocar algunas masas en el platillo de tal forma que el indicie coincida con la figura redonda. Poner entonces 500 gr menos en el platillo. La medida de peso obtenida debería ser ahora inferior en 500 gr.

Si el error es mayor que un número del dial, ésta deberá ser enviada a recalibrar.

1.2.2.4. Calibración del dinamómetro completo:

- Desconectar el dinamómetro del motor.
- Quitar las masas del brazo de carga.
- Detener el suministro de agua al dinamómetro y vaciar utilizando la válvula de drenaje.
- Ajustar el amortiguador al mínimo de posición de amortiguación.
- Quitar todo el aceite del depósito de amortiguación utilizando la tuerca de drenaje.
- Acoplar el brazo de calibración a un lado de la caja del estator por medio de las llaves proporcionadas con el equipo. El brazo de calibración debe ser colocado en el lado opuesto a la dirección del brazo del dinamómetro.

- Colocar un brazo de calibración suplementario en el extremo del brazo de calibración.
- Añadir masas proporcionalmente.
- Utilizar solamente las masas suministradas para realizar la calibración.
- Añadir una masa de 1 kg al plato de calibración, el correspondiente valor de 1 kg deberá ser indicado en el dinamómetro del muelle. Utilizando el mismo procedimiento añadir masas hasta completar la escala completa del dinamómetro de muelle.
- Calcular la posición del dinamómetro mediante la siguiente fórmula:

$$Precisión = \frac{Ta - Ti}{Escala\ completa\ del\ par} \cdot 100$$

Donde Ta es el par aplicado y Ti es el par indicado.

Esta precisión debe ser de más o menos 1%. Si esta no fuera así, entonces el dinamómetro no es completamente sensible (no amortigua libremente), los rodamientos no giran libremente, las tuberías han dejado de ser suficientemente flexibles o algún cuerpo extraño está afectando la sensibilidad del dinamómetro o bien la calibración de la balanza no es perfecta.

1.2.2.5. Una vez al año o 5000 horas:

- Limpiar y lubricar los rodamientos utilizando grasa, aplicándola al rodamiento y haciéndolo girar.
- Comprobar las masas adicionales.

1.2.3. Limpieza:

- Desconectar el agua de alimentación, abrir la válvula de drenaje vaciando completamente el agua.
- Llenar el dinamómetro con una solución al 50% de agua y producto antioxidante.

- Girar el rotor del dinamómetro dejando la compuerta de entrada en posición abierta, durante 20 min, permitiendo que la solución actúe durante al menos una hora.
- Hacer girar a mano o a baja velocidad durante 5 min con la compuerta de entrada en diferentes posiciones. Procurar que la temperatura de la solución no exceda los 50ºC.
- Conectar el suministro de agua de entrada al dinamómetro.
- Cerrar el suministro de agua y girar el dinamómetro sin carga alguna hasta vaciarlo.
- Hacer funcionar el dinamómetro de modo normal y comprobar posibles pérdidas.

1.2.4. Diagnosis de averías:

A continuacion se presentan posibles averias comunes que pueden aparecer con el uso del freno dinamométrico.

Si el dinamómetro no está dando carga conforme vamos aumentandola, puede ser a causa de una menor cantidad de agua o menor presión de agua, o por filtraciones de aire en el agua, por tanto debemos proporcionar el agua o la presion requeridas.

Si aparece demasiada fluctuacion en el medidor de agua, puede deberse a que la presion de agua de entrada está fluctuando o que el suministro de agua fluctua. Puede ser que existan daños en las tuberias del circuito de agua o que falte aceite de amortiguación. Para solucionarlo debemos mantener la presión requerida, el caudal constante, y es probable que las tuberías necesiten limpiarse.

Si el dinamómetro da de repente más o menos carga, puede deberse a que haya aire en el circuito o la temperatura del agua sea demasiado alta. Para solucionarlo hay que abrir la valvula de salida para reducir la temperatura.

Otra avería comun es que el dinamómetro da carga pero el dial no lo indica inmediatamente, y esto puede deberse a que la accion de la amortiguacion no se produce debido a presencia de aire o que la balanza del muelle esté averiada.

En el caso de que el dinamómetro de carga constante pero muestre lecturas erráticas en la balanza de muelle, debido a la sensibilidad del dinamómetro, se bede limpiar el amortiguador, añadir aceite de amortiguación, cambiar la tubería de entrada por otra más flexible, limpiar los rodamientos y comprobar la sensibilidad de la balanza.

Si la temperatura de los rodamientos se incrementa por encima de lo normal, el alineamiento puede haber sufrido una alteración, por falta o exceso de grasa de lubricación, un rodamiento o una junta en mal estado. Para solucionarlo, se deben apretar todas las tuercas de fijación, poner la cantidad de grasa recomendada, reemplazar los rodamientos, y apretar las juntas elásticas a ambos lados del eje principal.

Sin embargo, la avería mas común se da cuando aparecen vibraciones en el dinamómetro o en el eje principal, debido a fijaciones inadecuadas al suelo, tuercas mal apretadas, mal alineamiento entre el motor y el dinamómetro, pérdida de acoplamiento entre ejes o de alojamiento de rodamientos y rodamientos defectuosos. Para solucionarlo, se debe adecuar la fijación al suelo, apretar los tornillos de fijación, conseguir un perfecto alineamiento, comprobar tolerancia, apretar alojamiento del rodamiento o reemplazar algun rodamiento.

1.3. Mantenimiento del intercambiador de calor.

Para mantener el intercambiador de calor de placasen buen estado, es necesario realizar un mantenimiento periódico. Las placas se deben limpiar regularmente. La frecuencia depende de varios factores como, por ejemplo, el tipo de medios y las temperaturas. Después de un largo período de uso, puede que sea necesario cambiar las juntas estancas del PHE.

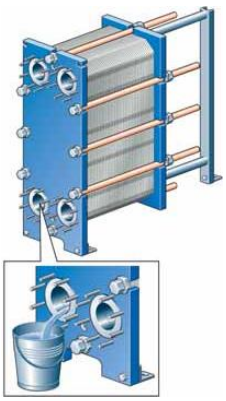
Otras tareas de mantenimiento que deberían realizarse regularmente:

- Mantener limpias y engrasadas la barra sustentadora y la barra guía.
- Mantener limpios y engrasados los pernos tensores.

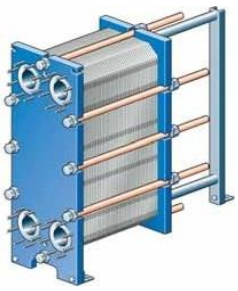
Limpieza manual

Para realizar la limpieza manual es necesario abrir el PHE y elevar las placas para limpiarlas.

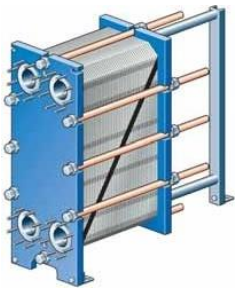
1. Vacíe el intercambiador de calor de placas.



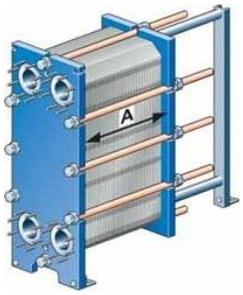
2. Revise las superficies deslizantes de la barra sustentadora y engrásela.



3. Marque la parte exterior del conjunto de las placas con una línea diagonal.



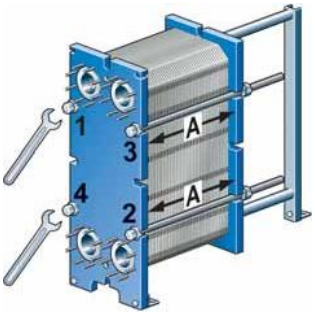
4. Mida y anote la dimensión A.



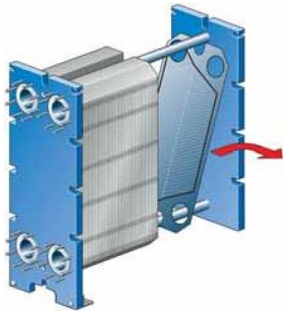
5. Afloje y retire todos los pernos, salvo los cuatro de las posiciones que se indican a continuación. Utilice estos cuatro pernos restantes para abrir el conjunto de placas según el esquema que aparece a continuación.

Paso	*N.º de perno*	*Distancia final*
1	1–2–3–4	1,05 A
2	1–2 o 3–4	Abierta

Obre con cuidado para asegurarse de quelas placas bastidor y de presión estén siempre paralelas. La oblicuidad de la placa de presión al abrirla no deberá superar los 10 mm (2 vueltas por perno) transversalmente a la anchura y 25 mm (5 vueltas por perno) verticalmente.



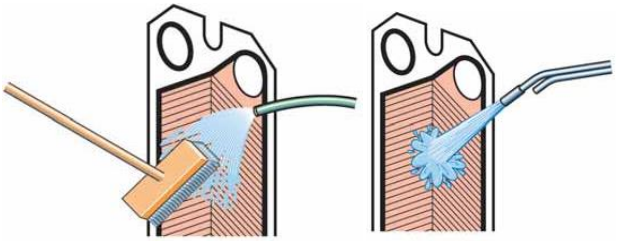
6. Abra el conjunto de placas deslizando la placa de presión por la barra sustentadora. Si la limpieza va a hacerse únicamente con agua (sin agente de limpieza), no es necesario retirar las placas.



Limpieza de las placas

Comience la limpieza cuando la superficie de calor esté aún húmeda y las placas estén suspendidas en el bastidor.

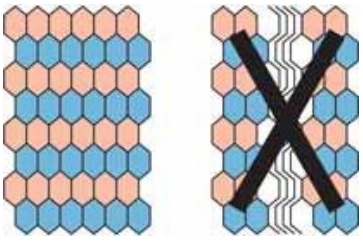
Elimine las incrustaciones con un cepillo suave y agua corriente. Aclare con agua mediante una manguera de alta presión.



Cierre

Siga las instrucciones que aparecen a continuación para asegurarse de que el intercambiador de calor de placas se cierre correctamente.

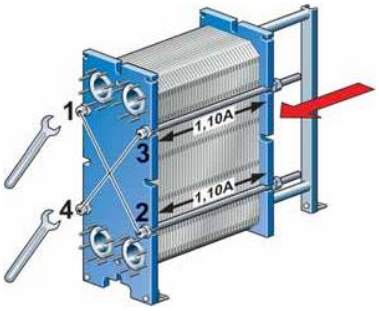
1. Compruebe que todas las superficies de sellado estén limpias.
2. Cepille las roscas de los pernos con un cepillo de púas de acero o utilice el limpiador para roscas. Lubrique las roscas con una capa fina de grasa.
3. Sujete las juntas estancas a las placas o compruebe que todas ellas estén bien sujetas.
4. Introduzca las placas en direcciones alternas y con las juntas estancas giradas hacia la placa de bastidor o la placa de presión. Utilice la línea que marcó al abrir el PHE.
5. Si las placas se han montado correctamente, los bordes forman un dibujo como el de un “panal”.



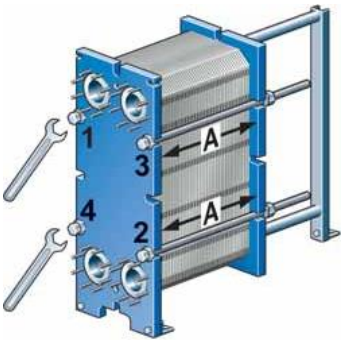
6. Junte todas las placas. El apretado se realiza en dos etapas. Obre con cuidado para asegurarse de que las placas de bastidor y de presión estén siempre paralelas.

Paso	*N.º de perno*	*Distancia final*
1	1–2 o 3–4	1,10 A
2	1–2–3–4	A

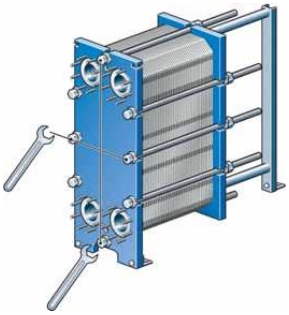
7. Apriete de forma alterna los dos pares de pernos que están en diagonal hasta que el conjunto de placas mida 1,10 A. Obre con cuidado para asegurarse de quelas placas bastidor y de presión estén siempre paralelas. La oblicuidad de la placa de presión al abrirla no deberá superar los10mm (2 vueltas por perno) transversalmente a la anchura y 25 mm (5 vueltas por perno) verticalmente.



Ahora los pernos están apretados de forma alterna y en diagonal, como indica la figura.



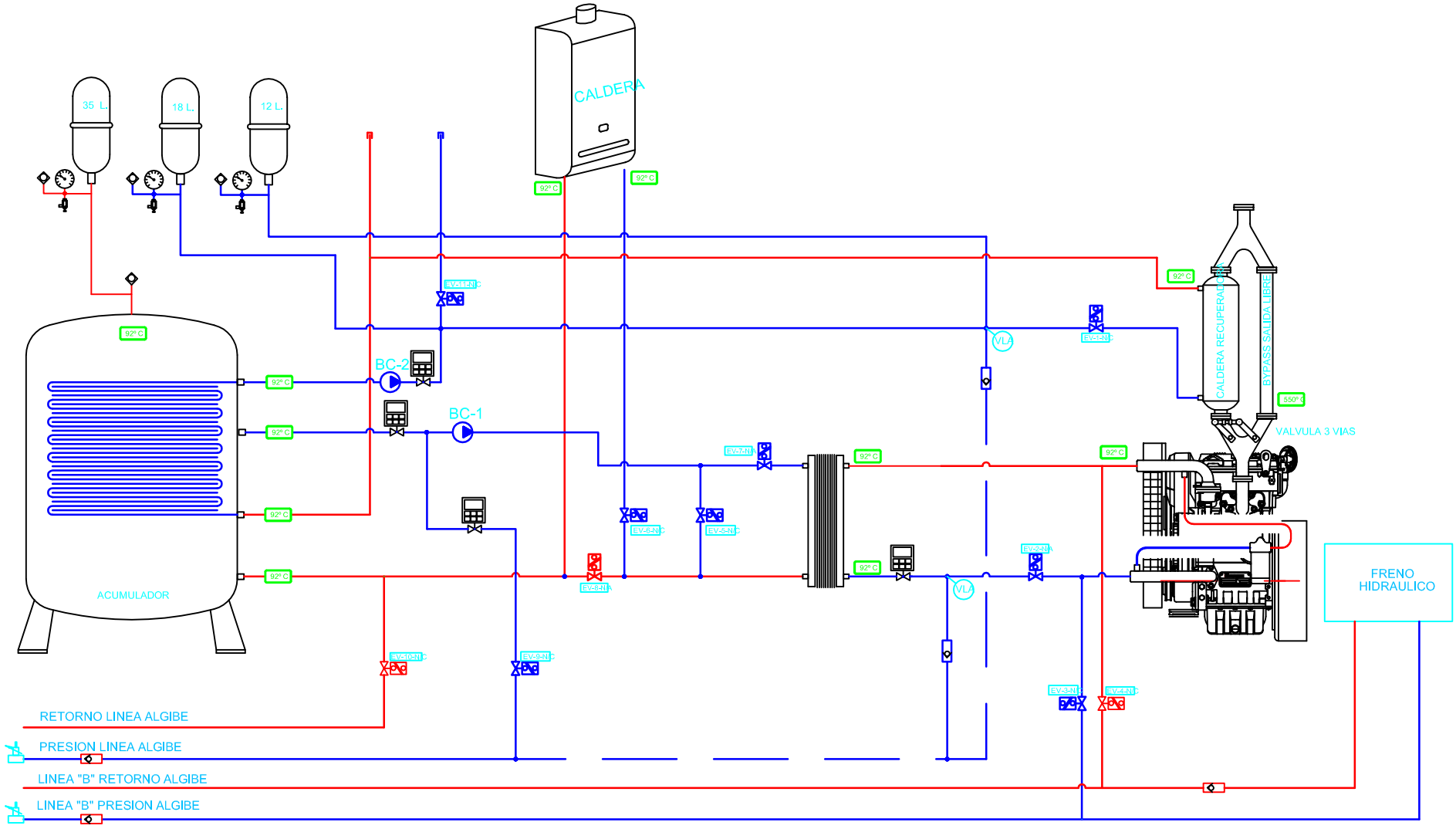
8. Para finalizar, apriete los dos pernos centrales, el superior y el inferior.



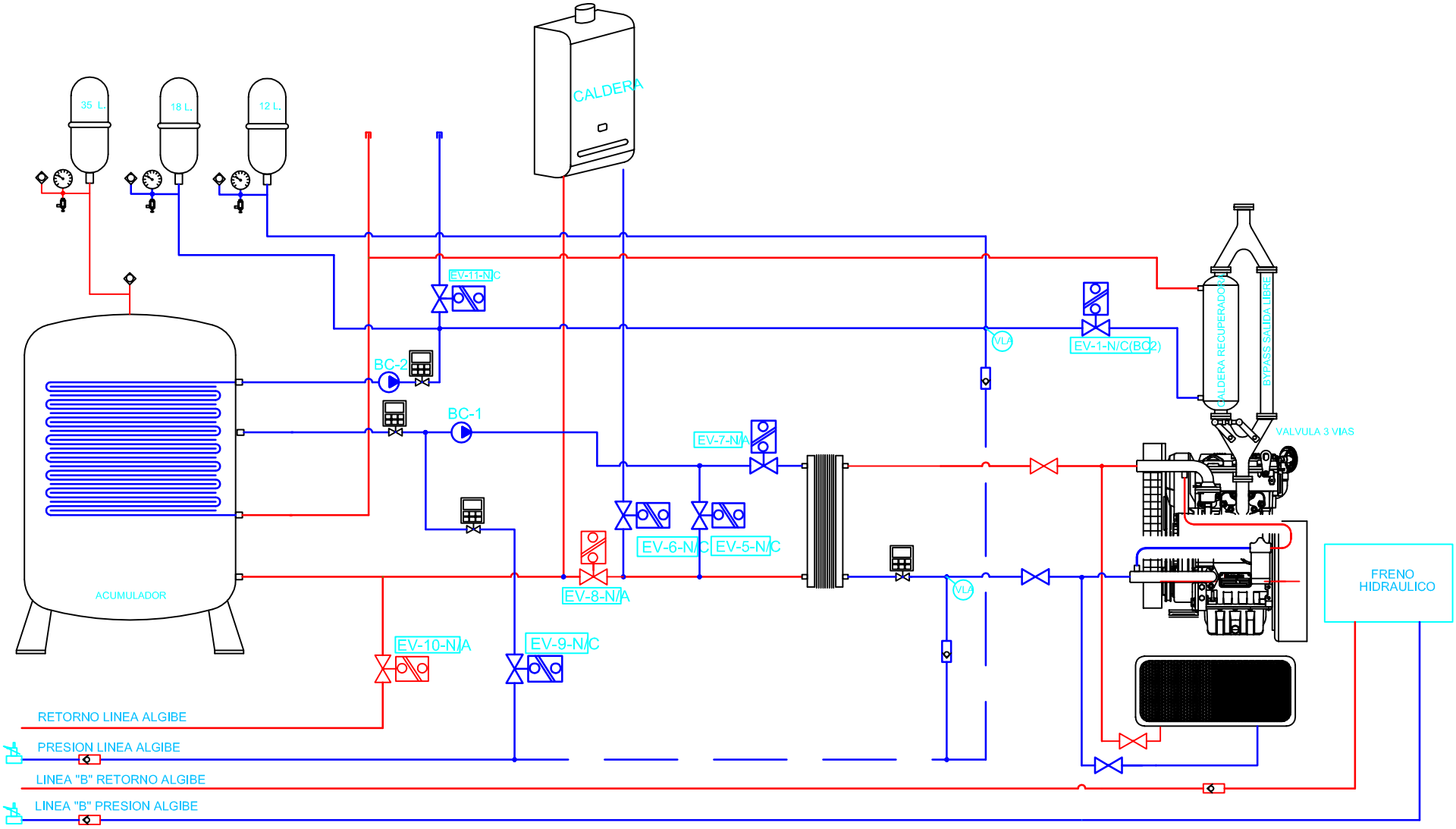
vi. Esquemas de la instalación

Índice

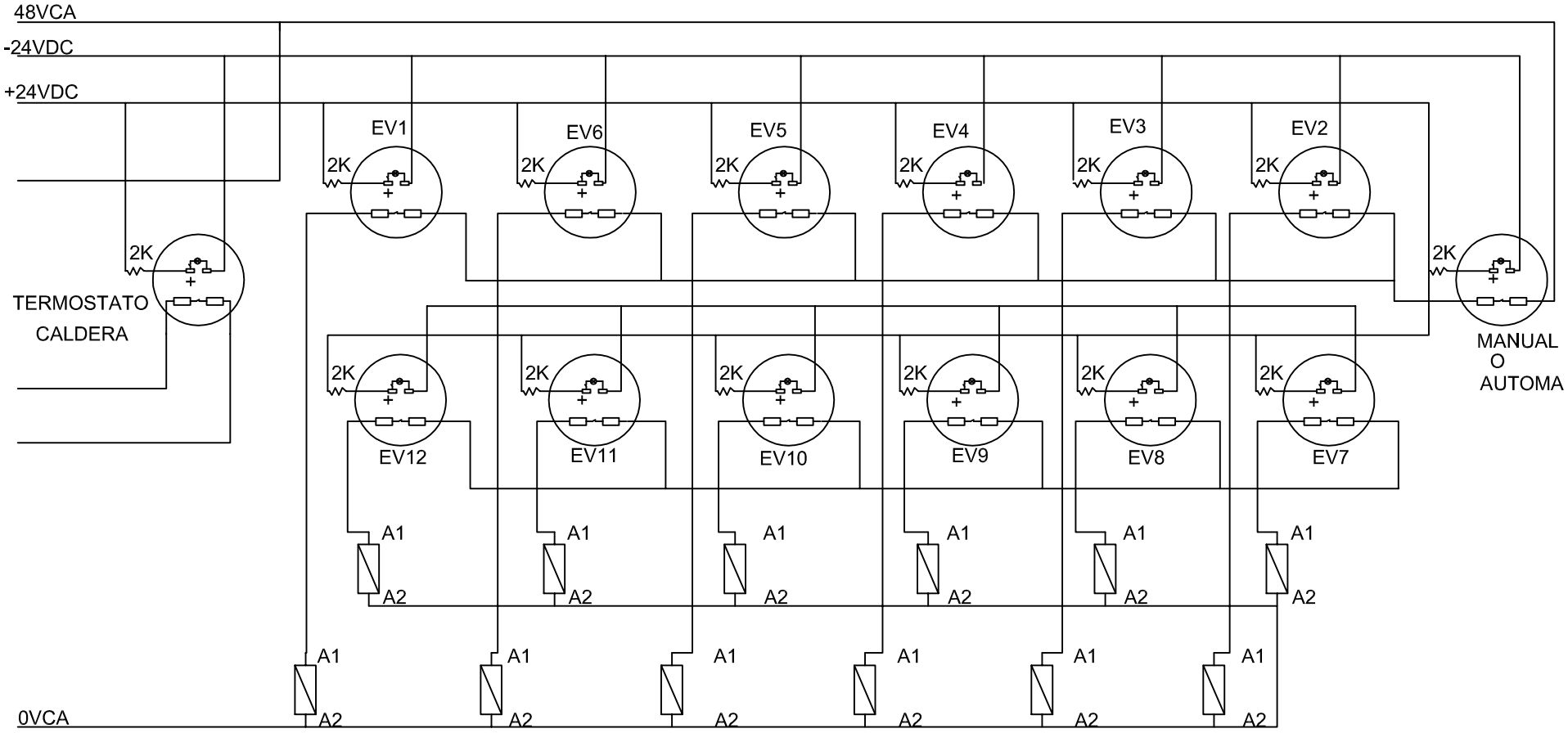
1. Esquema general original de la instalación.
2. Esquema general modificado de la instalación.
3. Esquema elélctrico de las electroválvulas.
4. Esquema eléctrico del arranque del motor.
5. Esquema eléctrico del cuadro de control.
6. Esquema del bloque motor-freno hidráulico.
7. Esquema del bloque intercambiador de calor (refrigeración del motor).
8. Esquema del bloque simulación de carga térmica (sobrecalentamiento en el acumulador).
9. Esquema del bloque activación de seguridad térmica del motor original.
10. Esquema del bloque activación de seguridad térmica del motor modificado.
11. Esquema del bloque recuperación de calor de los gases de escape.
12. Esquema del bloque refuerzo de la caldera de gas.



Esquema general original de la instalación			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 1	Fecha: 29/10/2016

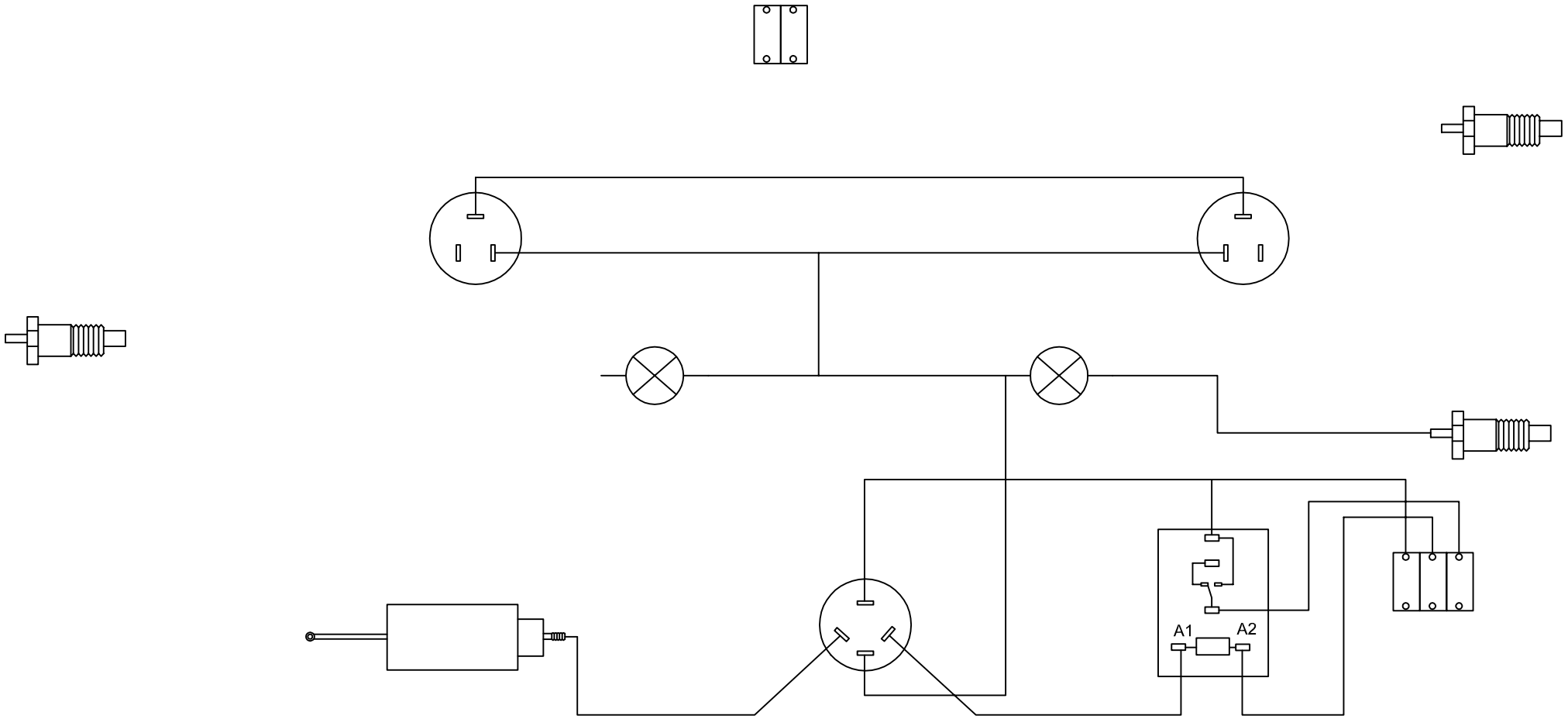


Esquema general modificado de la instalación			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 2	Fecha: 29/10/2016



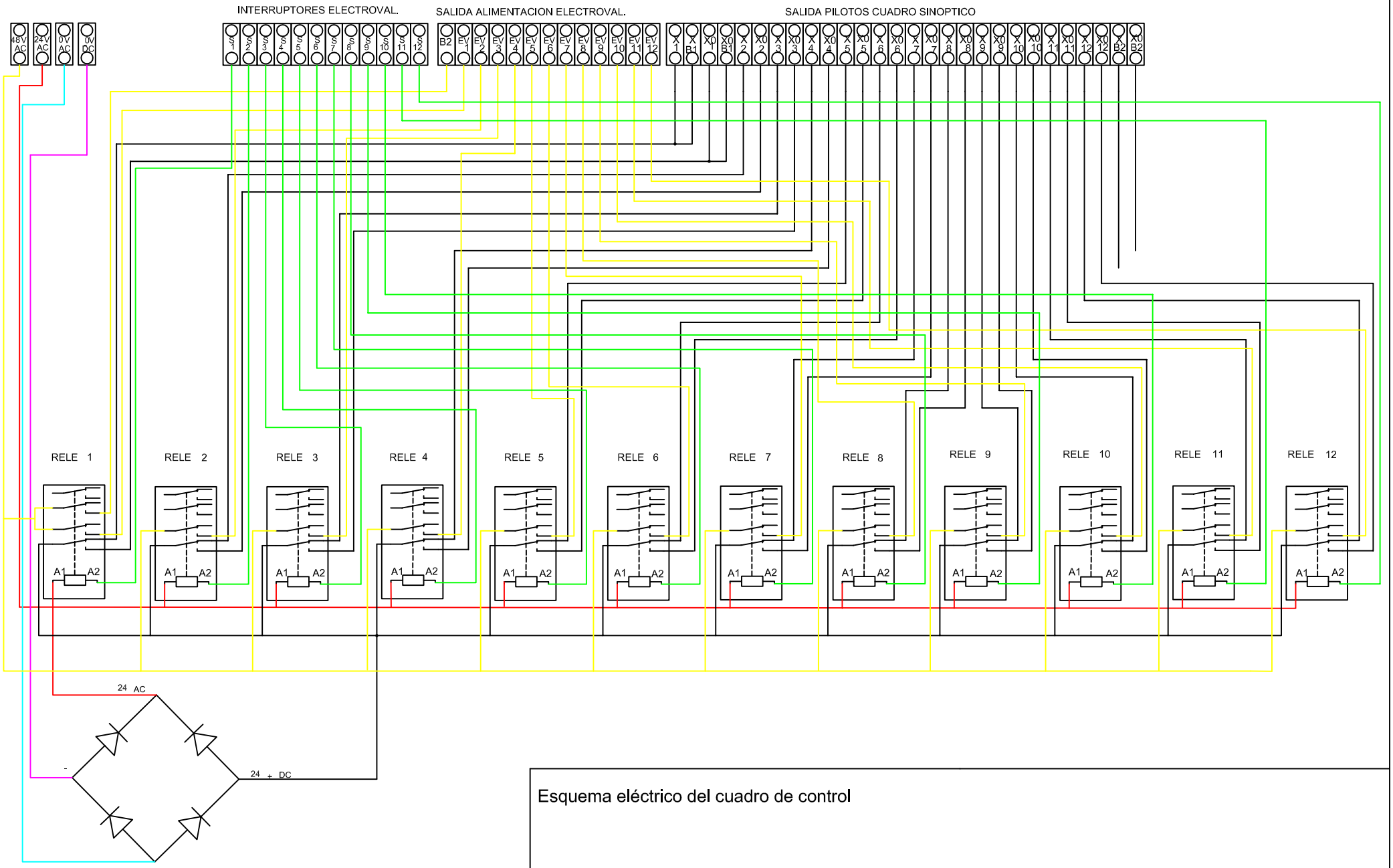
Esquema eléctrico de las electroválvulas

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 3	Fecha: 29/10/2016



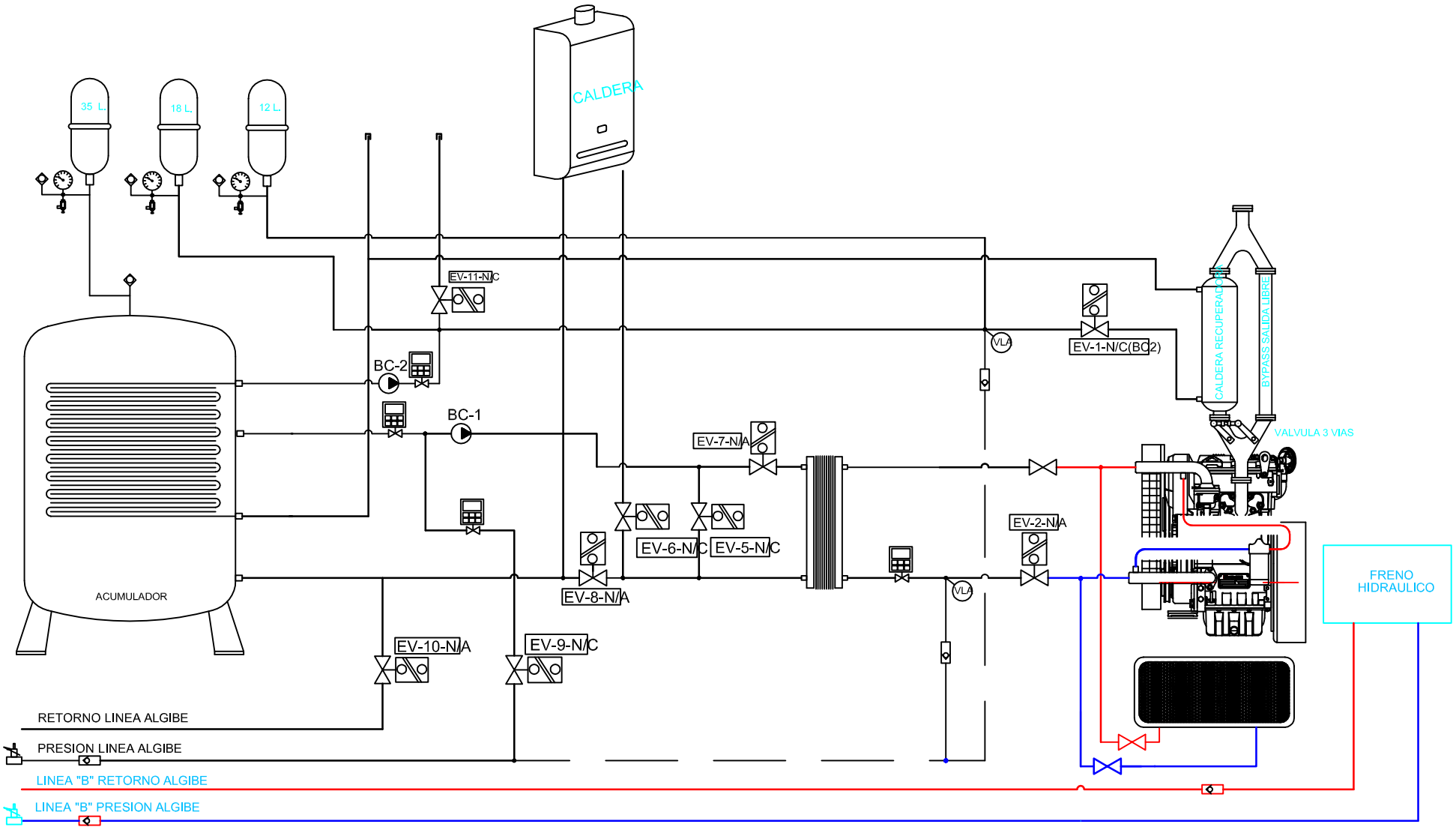
Esquema eléctrico del arranque del motor

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 4	Fecha: 29/10/2016

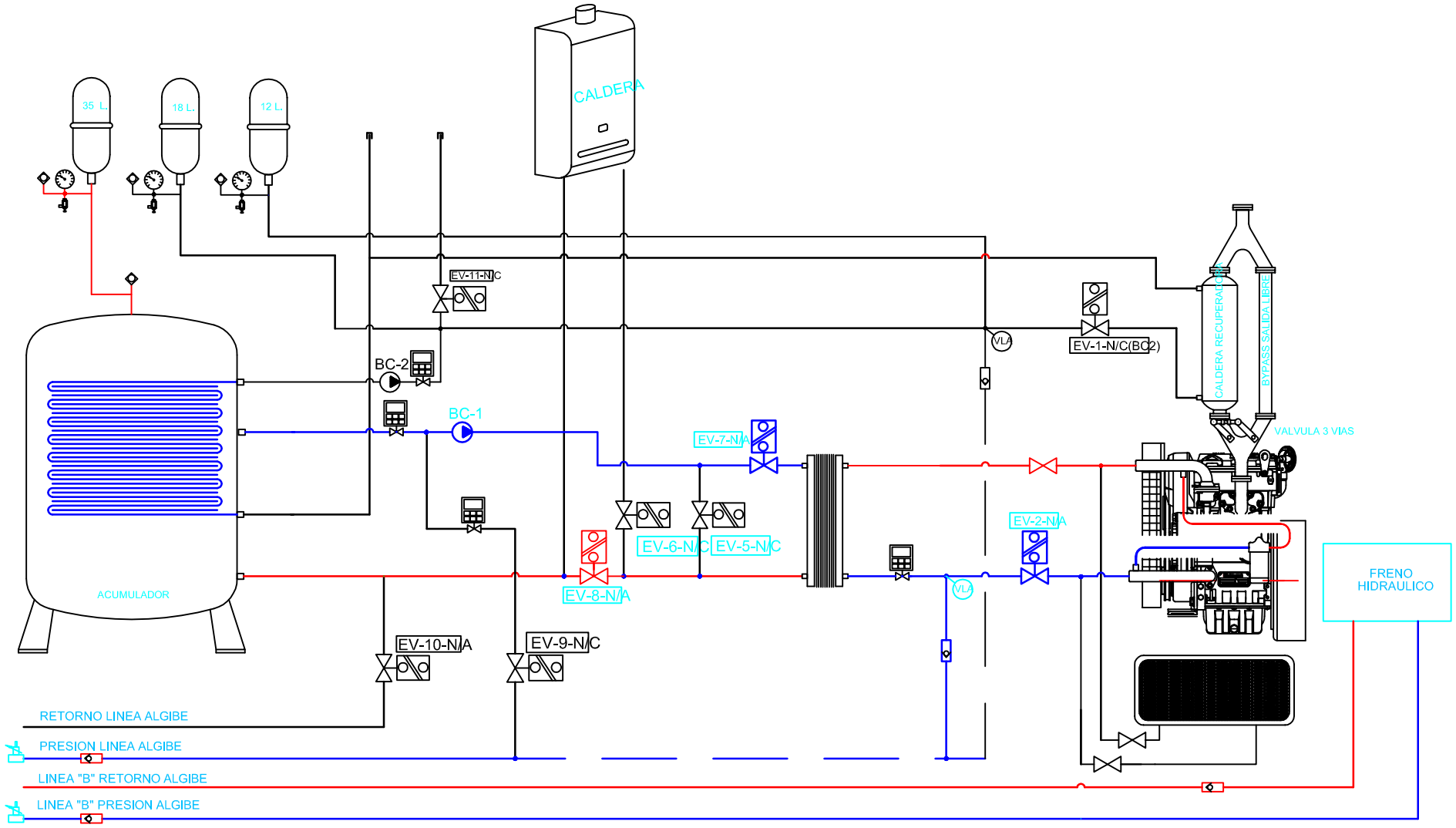


Esquema eléctrico del cuadro de control

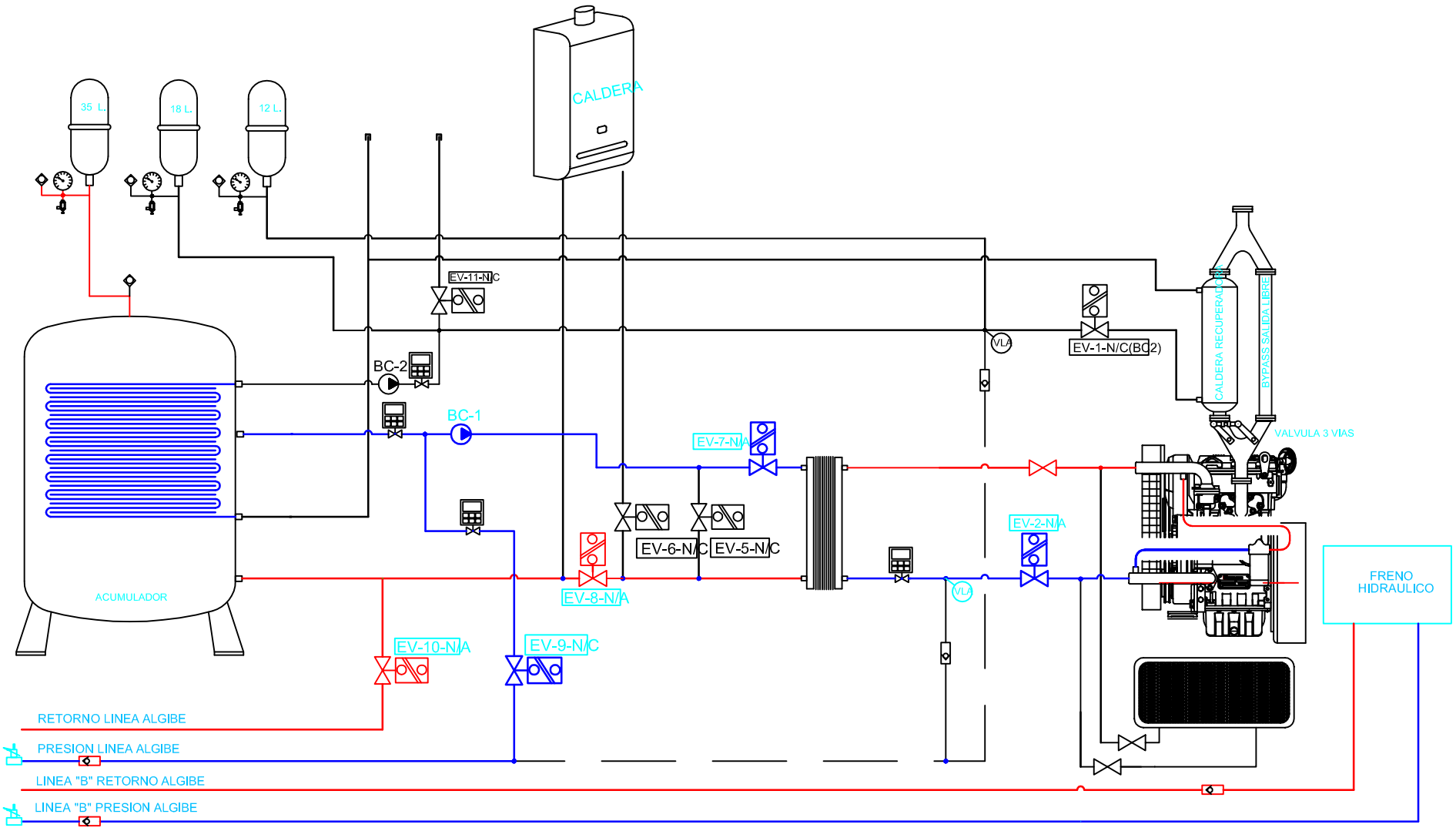
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 5	Fecha: 29/10/2016



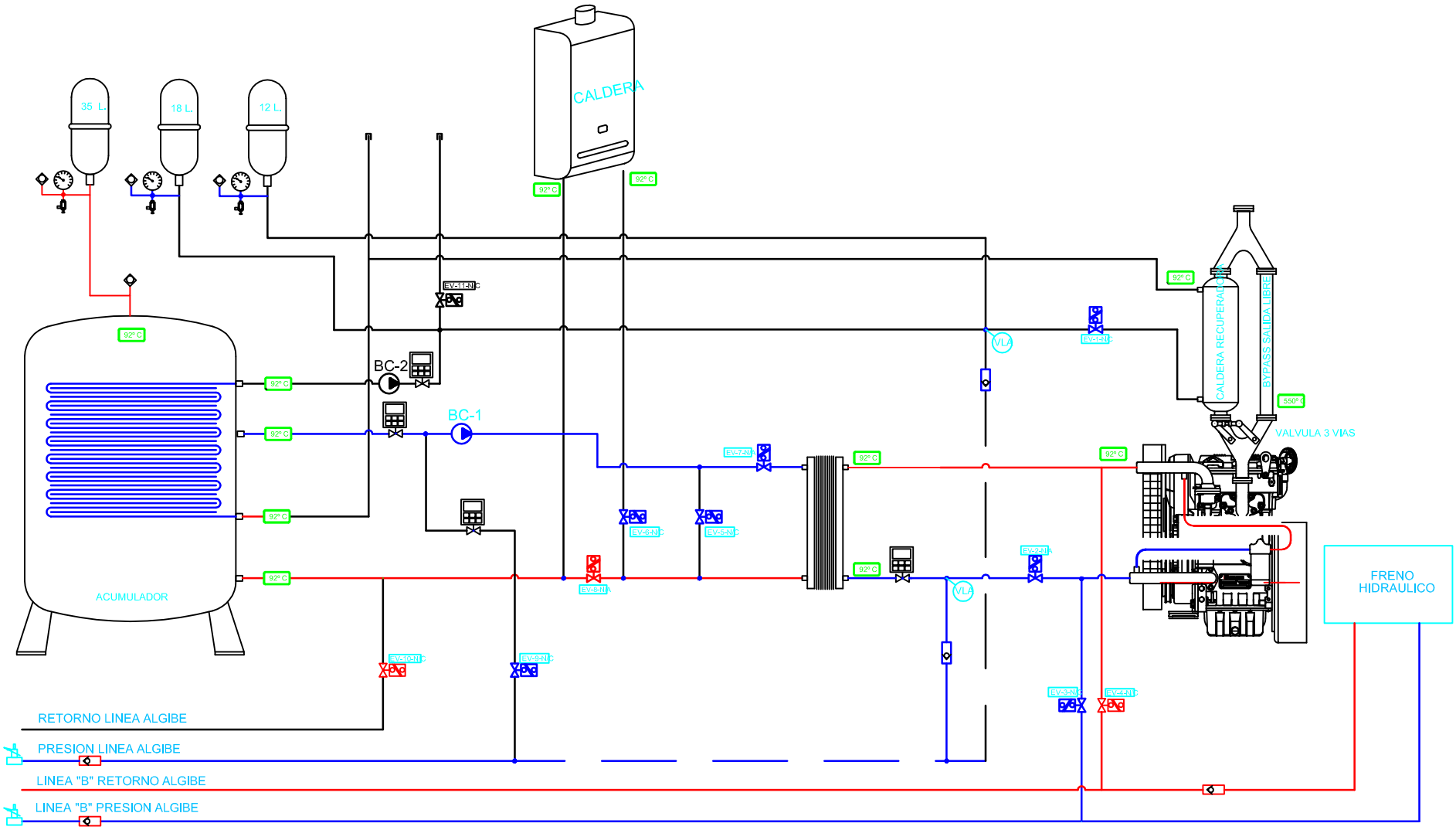
Esquema del bloque motor-freno hidráulico			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 6	Fecha: 29/10/2016



Esquema del bloque intercambiador de calor (refrigeración del motor)			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 7	Fecha: 29/10/2016

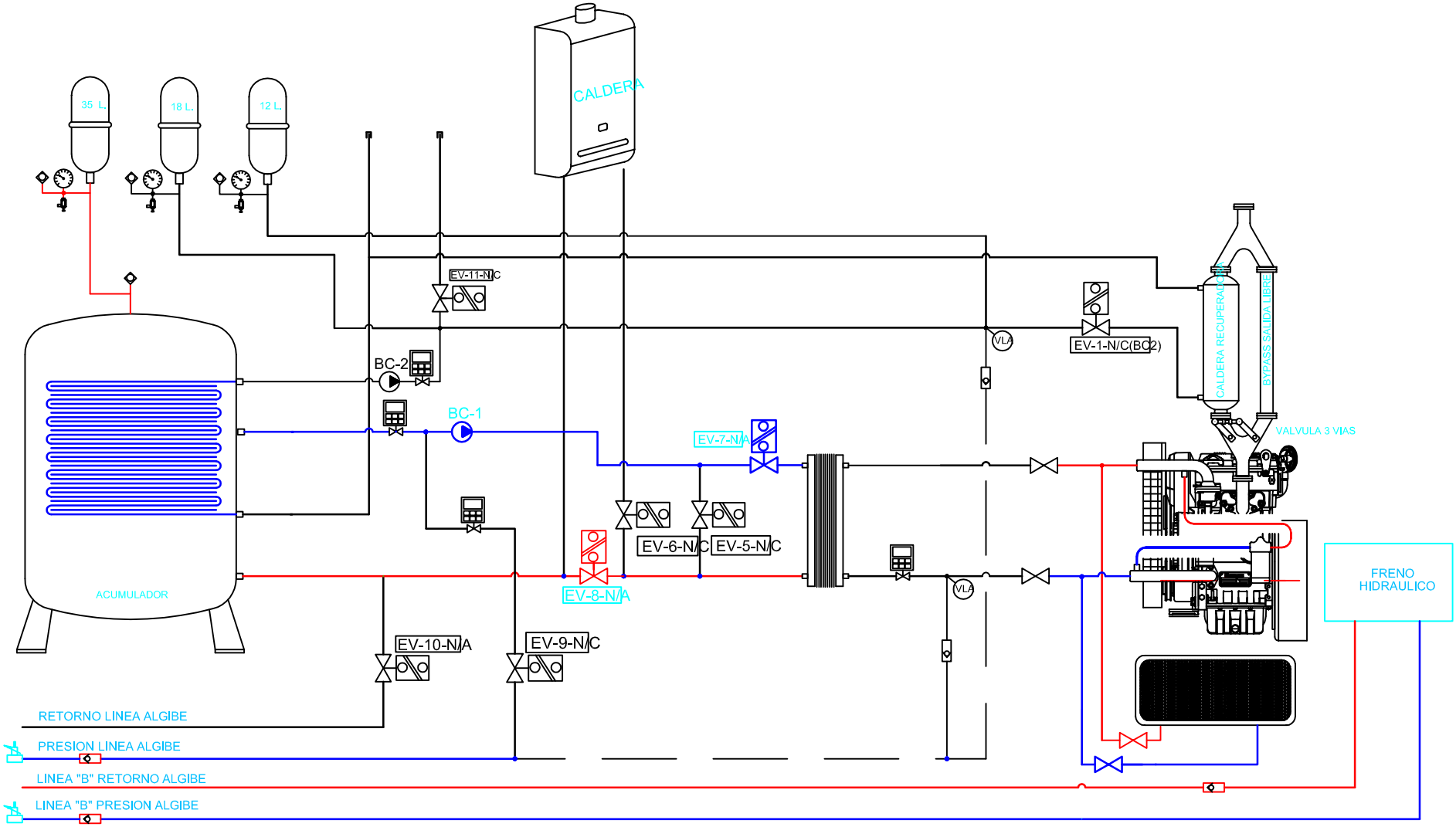


Esquema del bloque simulación de carga térmica (sobrecalentamiento del acuulador)			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 8	Fecha: 29/10/2016



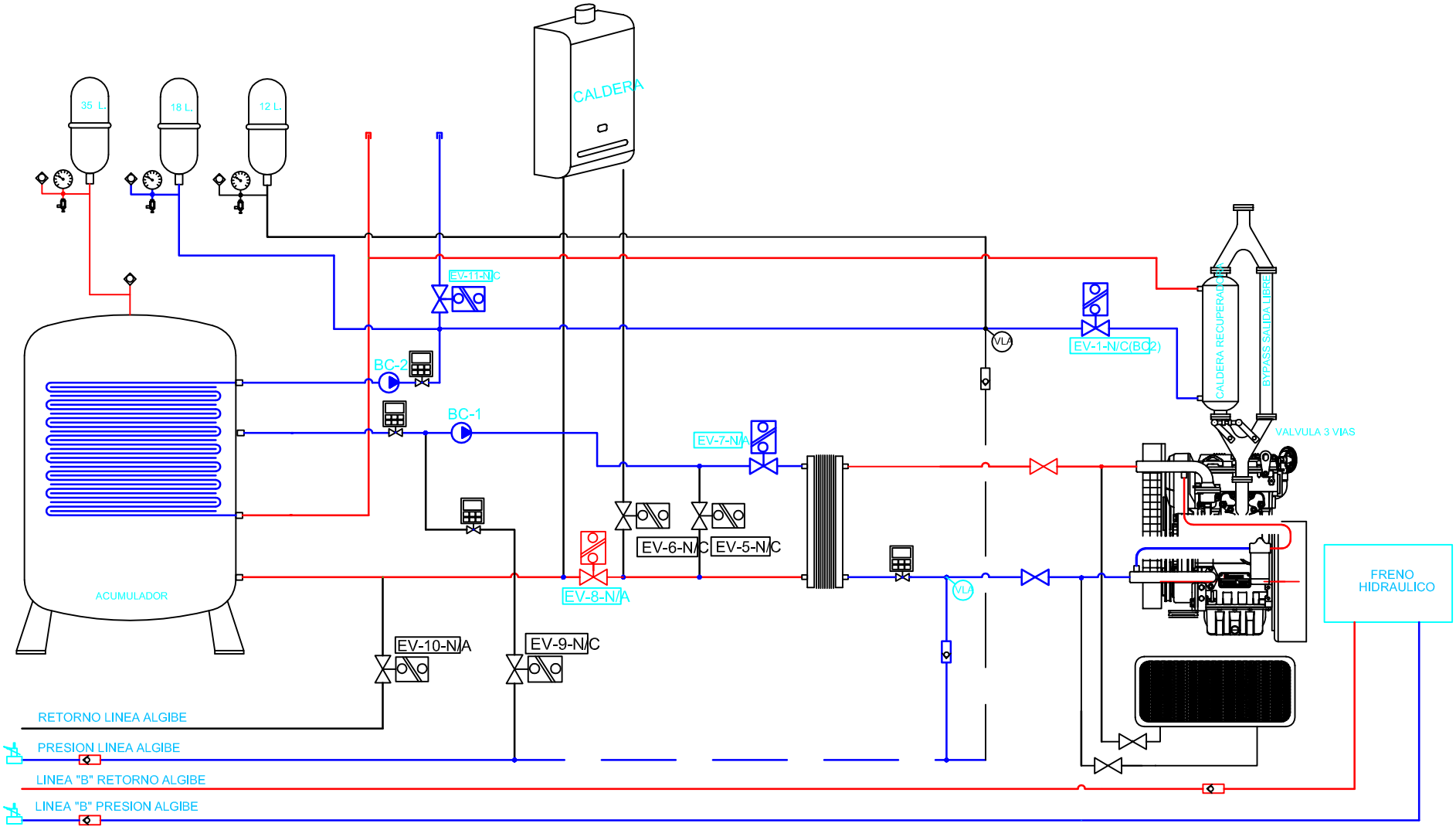
Esquema del bloque activación de seguridad térmica del motor original

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 9	Fecha: 29/10/2016



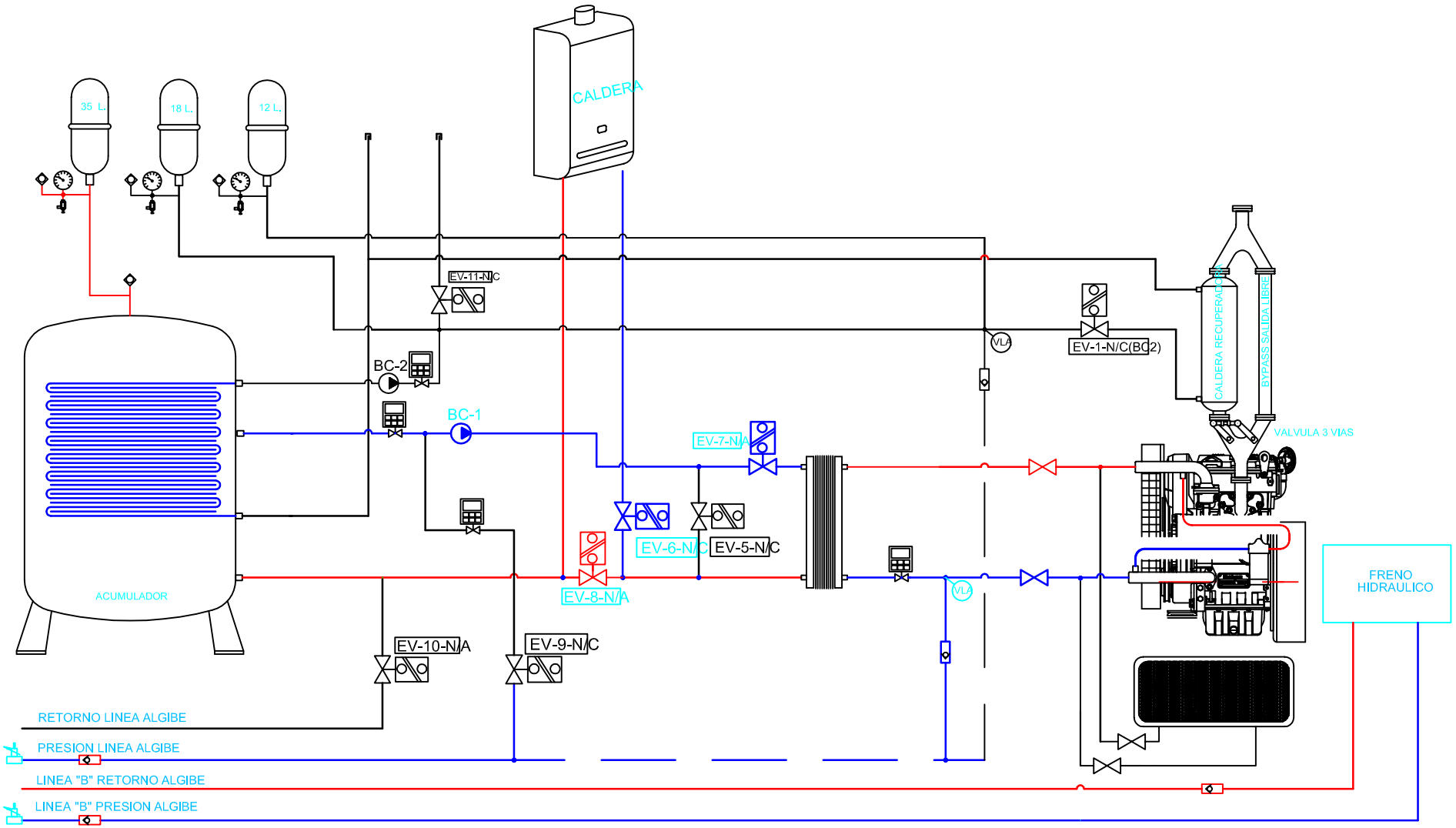
Esquema del bloque activación de seguridad térmica del motor modificado

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 10	Fecha: 29/10/2016



Esquema del bloque recuperación de calor de los gases de escape

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 11	Fecha: 29/10/2016

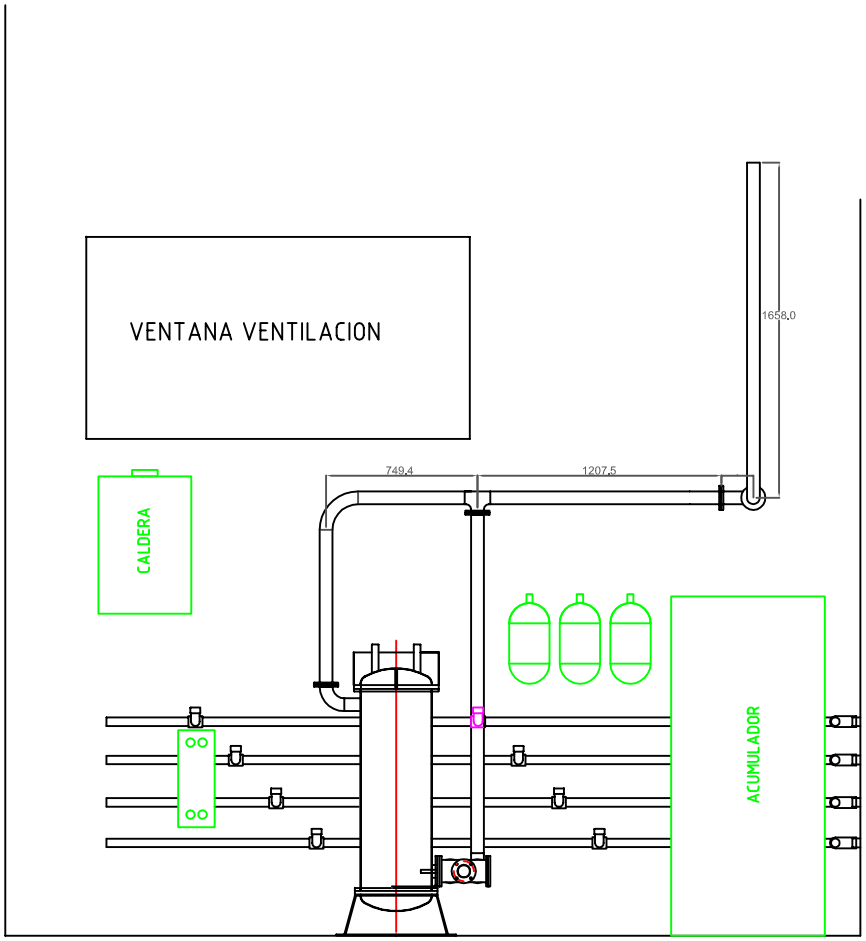


Esquema del bloque refuerzo de la caldera de gas			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº esquema: 12	Fecha: 29/10/2016

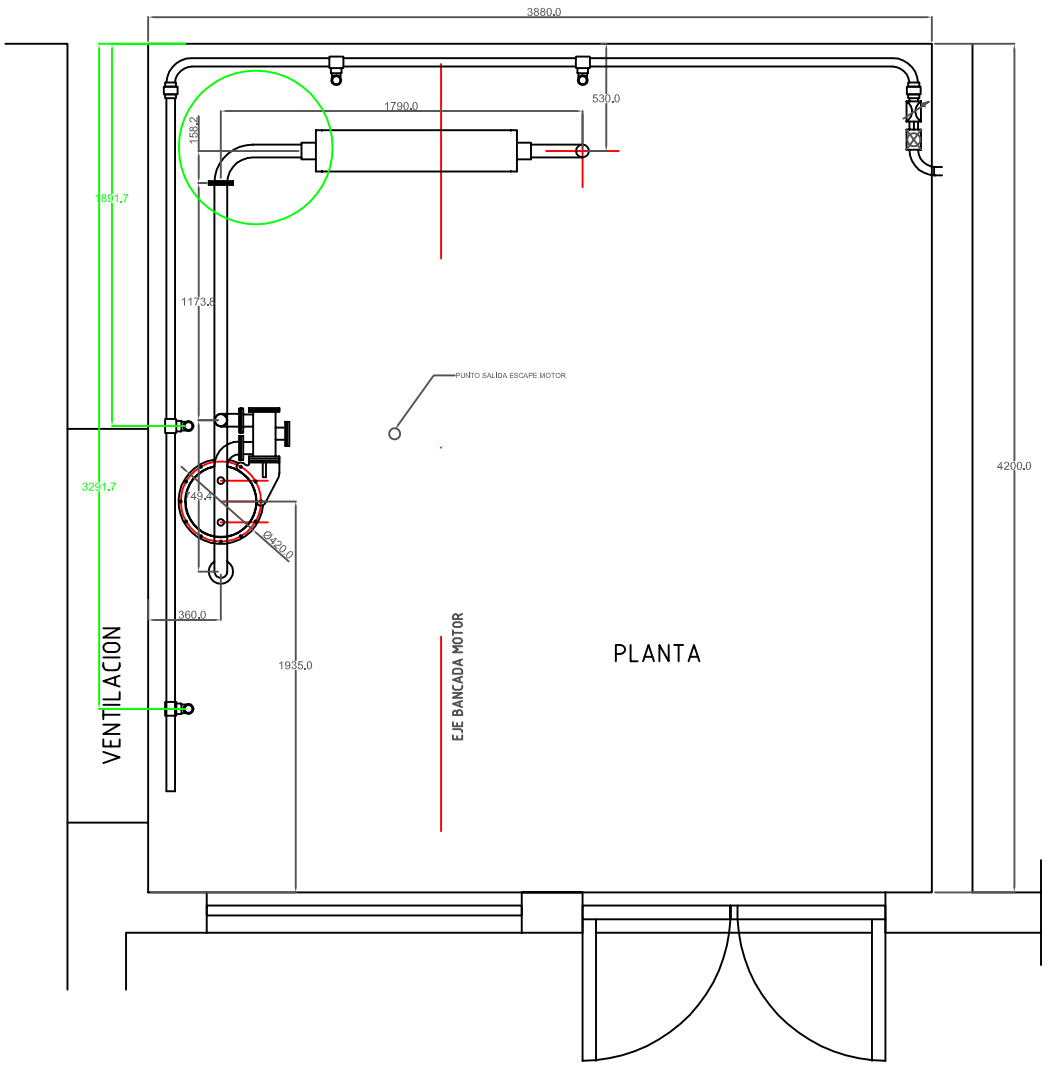
v. Planos del sistema de evacuación de los gases de escape

Índice

1. Sistema de evacuacion de los gases de escape.
2. Válvula de tres vías para la desviación de gases.
3. Vista interior de la caldera de recuperación.

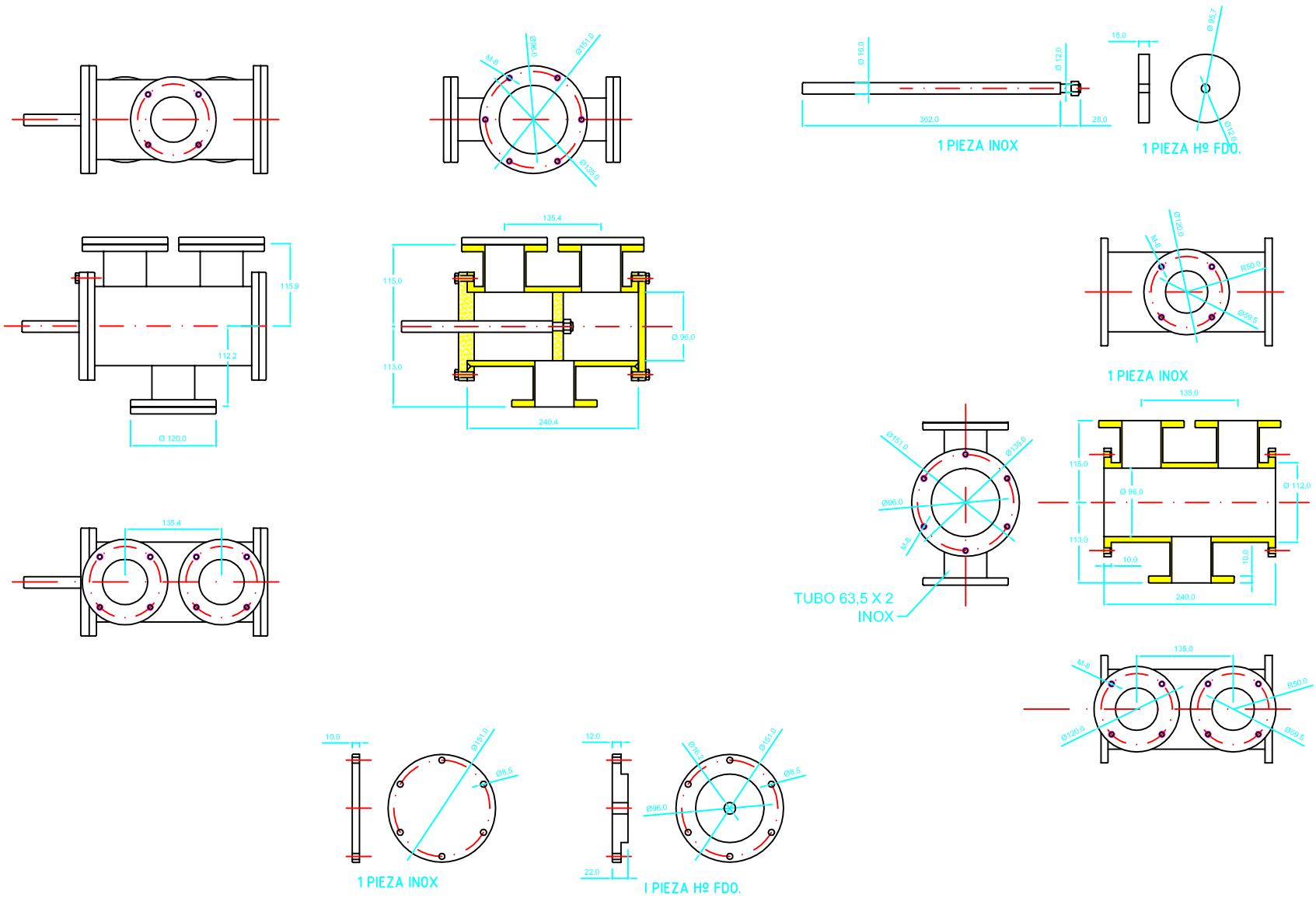


ALZADO

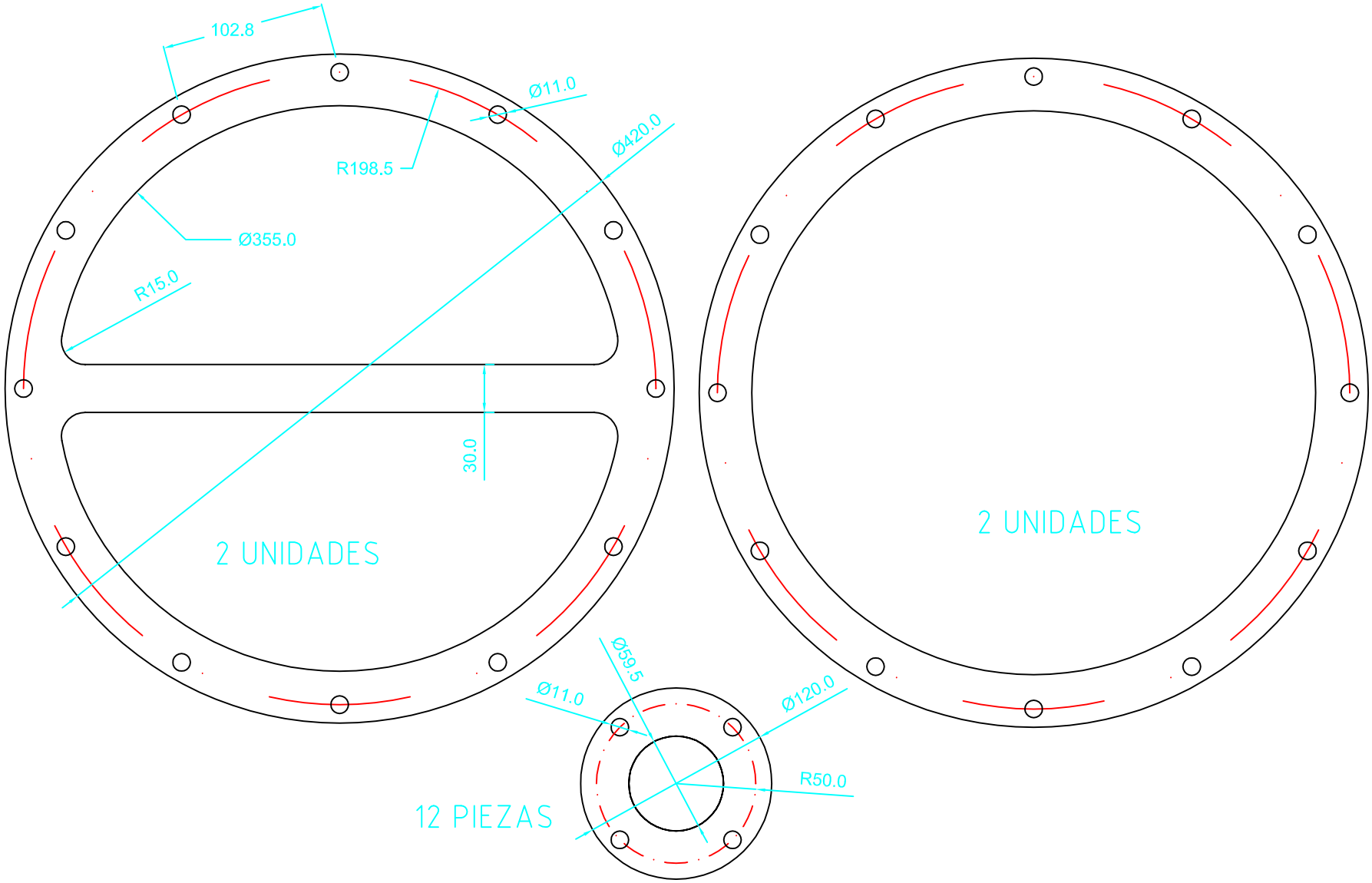


Sistema de evacuación de los gases de escape.

Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº plano: 1	Fecha: 29/10/2016



Válvula de tres vías para la desviación de gases			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº plano: 2	Fecha: 29/10/2016



Caldera de recuperación. Vista interior			
Puesta a punto de un banco de ensayos de motores térmicos	Ana Cecilia López Navarro	nº plano: 3	Fecha: 29/10/2016