



ULL

---

# Universidad de La Laguna

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO DE FINDE GRADO

## **Plan de Mantenimiento de Calderas Piro-tubulares en Refinería Tenerife**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Javier Sanabria Hernández

Tutor: Sergio Elías Hernández Alonso  
Tutor Externo: Vicente Martínez Rodríguez

Septiembre 2017

# Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis tutores Sergio Elías Hernández Alonso y Vicente Martínez Rodríguez por haberme dado la posibilidad de realizar este proyecto y por su ayuda brindada durante la realización del mismo.

En segundo lugar, agradecer a la Compañía Española de Petróleos (CEPSA) y al personal del departamento de mantenimiento por su colaboración.

Igualmente, agradecer a mi familia, en especial a mis tíos José Manuel y Mercedes, por sus consejos y apoyo incondicional que me han dado no solo a lo largo de este proyecto, sino durante todos estos años.

# INDICE

	Página
INDICE	3
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
0.ASPECTOS GENERALES	9
0.1 Abstract	9
0.2 Nomenclatura y Abreviaciones	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Objetivos	10
1.2 Antecedentes	10
1.3 Introducción al Mantenimiento	11
1.3.1 Mantenimiento Preventivo	11
1.3.2 Mantenimiento Predictivo	11
1.3.3 Mantenimiento Correctivo	12
1.4 Mantenimiento en Refinería Tenerife	13
1.4.1 Mantenimiento Ordinario	13
1.4.1.1 Selección y priorización	13
1.4.1.2 Planificación y Programación	13
1.4.1.3 Realización de los trabajos	13
1.4.2 Mantenimiento Extraordinario	14
1.4.2.1 Paradas Programadas	14
1.4.2.2 Grandes Reparaciones	14
1.4.2.3 Mejoras técnicas	14
1.4.3 Manuales CEPESA	15
1.4.4 Software utilizado (SAP)	16
1.4.4.1 Estructura de unidades en SAP	16
1.5 Descripción de la Central de Generación de Vapor	18
1.5.1 Descripción del Proceso de la planta	18
1.5.2 Circuito alimentación-precalentamiento de agua	20
1.5.2.1 Depósito de agua de alimentación y desgasificador	20
1.5.2.1.1 Modo de funcionamiento	21
1.5.2.1.2 Instrumentos que lo componen	21

1.5.2.2	Pre calentador de agua de alimentación	22
1.5.2.2.1	Instrumentos que lo componen	22
1.5.2.3	Economizador	22
1.5.2.3.1	Modo de funcionamiento	22
1.5.2.3.2	Instrumentos que lo componen	23
1.5.2.4	Bombas de agua de alimentación	23
1.5.2.4.1	Instrumentos que lo componen	23
1.5.2.5	Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación	23
1.5.2.5.1	Instrumentos que lo componen	23
1.5.3	Circuito de fuel	24
1.5.3.1	Depósito de combustible	24
1.5.3.1.1	Instrumentos que lo componen	24
1.5.3.2	Módulo de alimentación de FO	25
1.5.3.2.1	Instrumentos que lo componen	25
1.5.3.3	Pre calentador de combustible	25
1.5.3.3.1	Instrumentos que lo componen	25
1.5.3.4	Equipo de combustión	26
1.5.3.4.1	Instrumentos que lo componen	26
1.5.3.5	Módulo de regulación de presión	27
1.5.3.5.1	Instrumentos que lo componen	27
1.5.4	Circuito de vapor	27
1.5.4.1	Calderas piro tubulares	27
1.5.4.1.1	Modo de funcionamiento	28
1.5.4.1.2	Instrumentos que lo componen	29
1.5.4.2	Recalentador	30
1.5.4.2.1	Instrumentos que lo componen	30
1.5.5	Circuito de purgas	30
1.5.5.1	Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM31	
1.5.5.1.1	Modo de funcionamiento:	31
1.5.5.1.2	Instrumentos que lo componen:	32
1.5.5.2	Módulo refrigerador de toma de muestras SCM	32
1.5.5.2.1	Modo de funcionamiento	32
1.5.5.3	Dispositivos de purgas en equipos	32

1.5.6 Circuito colector	33
1.5.6.1 Colector SD-SS (Vapor saturado)	33
1.5.6.2 Colector SD-SH 1 (Vapor sobrecalentado)	33
1.5.6.3 Colector SD-SH 2 (Vapor sobrecalentado servicios)	33
2. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	34
2.1 Metodología general aplicada	34
2.1.1 Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)	34
2.2 Análisis de la información	35
2.3 Evaluación del riesgo y clasificación de los equipos	36
2.3.1 Determinación de las funciones y consecuencias de fallo	36
2.3.1.1 Funciones y consecuencias de fallo de la Central de Generación de Vapor a nivel unidad	36
2.3.1.2 Funciones y consecuencias de fallo de los circuitos ( <i>nivel de supertag</i> )	37
2.3.1.3 Consecuencia de fallo de equipos	38
2.3.2 Criticidades definidas para equipos e instrumentación	42
2.4 Mitigación del riesgo	42
2.4.1 Medición de Vibraciones	43
3. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	44
3.1 Mantenimiento para equipos del circuito de alimentación-precalentamiento de agua	44
3.1.1 Depósito de agua de alimentación y desgasificador	44
3.1.2 Precalentador de agua de alimentación	47
3.1.3 Economizador	49
3.1.4 Bombas de agua de alimentación	52
3.1.5 Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación	54
3.2 Mantenimiento para equipos del circuito de fuel	56
3.2.1 Depósito de combustible	56
3.2.2 Módulo de alimentación FO	56
3.2.3 Precalentador de combustible	57
3.2.4 Equipo de combustión	60
3.3 Mantenimiento para equipos del circuito de vapor	62
3.3.1 Calderas piro tubulares	62
3.3.2 Recalentador	64

3.4 Mantenimiento para equipos del circuito de purgas	66
3.4.1 Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM	66
4. PRESUPUESTO	68
4.1 Presupuesto estimado para el Mantenimiento Preventivo (por inspección)	68
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	72
6. BIBLIOGRAFÍA	74
7. ANEXOS	75
7.1 CRITICIDADES DEFINIDAS PARA EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS	75
7.2 PLANOS	84

## Índice de tablas

Tabla 1: Fallo funcional (Circuito de alimentación-precalentamiento de agua)	38
Tabla 2: Fallo funcional (Circuito de Vapor)	39
Tabla 3: Fallo funcional (Circuito de Fuel)	40
Tabla 4: Fallo funcional del Circuito Colector (verde) y del Circuito de Purgas (violeta)	41
Tabla 5: Clasificación de Criticidades	42
Tabla 6: Propuesta para Mantenimiento del Depósito de agua y desgasificador	45
Tabla 7: Propuesta para Mantenimiento del Precalentador de agua de alimentación	47
Tabla 8: Propuesta para Mantenimiento del Economizador	50
Tabla 9: Propuesta para Bombas de agua de alimentación	53
Tabla 10: Propuesta para Mantenimiento del Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación	54
Tabla 11: Propuesta para Mantenimiento del depósito de combustible	56
Tabla 12: Propuesta para Mantenimiento del módulo de alimentación de fuel	56
Tabla 13: Propuesta para Mantenimiento del precalentador de combustible	58
Tabla 14: Propuesta para Mantenimiento del equipo de combustión	60
Tabla 15: Propuesta para Mantenimiento de Calderas	62
Tabla 16: Propuesta para Mantenimiento del Recalentador	64
Tabla 17: Propuesta para Mantenimiento del Dispositivo de purga de lodos, expansión y de enfriamiento BEM	66
Tabla 18: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Agua de alimentación	69
Tabla 19: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Vapor	70
Tabla 20: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Fuel	70
Tabla 21: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Purgas	71

## Índice de figuras

Figura 1: Estructura jerárquica, base de datos en SAP	16
Figura 2: Diagrama del proceso de la instalación (izquierda), tabla de símbolos (derecha)	19
Figura 3: Esquema general, Circuito de alimentación-precalentamiento de agua (representado en azul)	20
Figura 4: Economizador	22
Figura 5: Esquema general, Circuito de Fuel (representado en naranja)	24
Figura 6: Precalentador de combustible	25
Figura 7: Equipo de combustión SAAKE-SKV-A	26
Figura 8: Esquema general, Circuito de Vapor (representado en amarillo)	27
Figura 9: Caldera Piro-tubular, vista lateral (izquierda), vista frontal (derecha)	28
Figura 10: Esquema Caldera Piro-tubular	29
Figura 11: Esquema general, Circuito de Purgas (representado en violeta)	30
Figura 12: Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM	31
Figura 13: Esquema general, Circuito Colector (representado en verde)	33
Figura 14: Matriz de Riesgo, (manual MO-0107- Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM))	35
Figura 15: Medidor de Vibraciones	43
Figura 16: Simulación de la vibración producida por un cojinete de rodamientos con fallo	43
Figura 17: Aplicación matriz de riesgo para Depósito de agua y desgasificador (B4 – B2)	46
Figura 18: Aplicación matriz de riesgo para Precalentador de agua de alimentación (C4 – C2)	48
Figura 19: Aplicación matriz de riesgo para Economizador (C4 – C2)	51
Figura 20: Aplicación matriz de riesgo para Bombas de agua de alimentación (B2 – B4)	53
Figura 21: Aplicación matriz de riesgo para Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación (C2 – C4)	55
Figura 22: Aplicación matriz de riesgo para Módulo de alimentación de fuel (B2 – B4)	57
Figura 23: Aplicación matriz de riesgo para Precalentador de combustible (B2 – B4)	59
Figura 24: Aplicación matriz de riesgo para Equipo de combustión (B2 – B4)	61
Figura 25: Aplicación matriz de riesgo para Calderas piro-tubulares (B2 – B4)	63
Figura 26: Aplicación matriz de riesgo para Recalentador (B2 – B4)	65
Figura 27: Aplicación matriz de riesgo para Dispositivo de purga de lodos, expansión y de enfriamiento BEM (C4 – C2)	67

## 0. ASPECTOS GENERALES

### 0.1 Abstract

The main objective of this Project is to design a maintenance plan for the new steam generation plant installed in the Refinery belonging to the CEPESA group, located in Santa Cruz de Tenerife. The possibility of realizing this project is born from the accomplishment of the curricular practices in this company, more concretely in the maintenance department.

For the development of the maintenance strategy, an analysis of the installation will be carried out and the necessary information of each equipment to be contemplated in the maintenance plan will be collected.

After identifying these equipment, a study of their functions and consequences of failure will be made, which, after evaluation, will result to a level of criticality for each equipment. In this way, according to the established methodology, a maintenance plan that meets the needs will be proposed to guarantee maximum equipment availability at a minimum cost.

Finally, the budget will be estimated for the annual maintenance of the installation.

### 0.2 Nomenclatura y Abreviaciones

- Supertag: Abreviatura utilizada en SAP para relacionar el equipo con la etapa o proceso al que pertenece dentro de una instalación.
- Tag: Código utilizado en SAP para identificar los diferentes equipos dentro de una instalación.
- CEPESA: Compañía Española de Petróleos.
- SAP <sup>[1]</sup>: Software de tipo ERP o “Enterprise Resource Planning” (Gestión de Recursos Empresariales), utilizado para la gestión de los diferentes procesos dentro de una empresa de forma conjunta e integrada.
- ERP (*Enterprise Resource Planning*) <sup>[2]</sup>: Sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía en la producción de bienes o servicios.
- RBM (*Risk Based Maintenance*) <sup>[3]</sup>: Mantenimiento Basado en el Riesgo.
- RBI (*Risk Based Inspection*): Inspección Basada en el Riesgo.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de un plan de mantenimiento que contenga las estrategias necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de la nueva central de generación de vapor, compuesta principalmente por dos calderas ubicada en la Refinería de Santa Cruz de Tenerife, perteneciente al grupo CEPSA.

Además, la realización de este proyecto pretende aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en el ámbito profesional, realizando el proyecto junto con los diferentes departamentos encargados del funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones en la refinería.

## 1.2 Antecedentes

La Refinería de Santa Cruz de Tenerife la primera refinería instalada por la Compañía Española de Petróleos, S.A (CEPSA) <sup>[4]</sup>, su emplazamiento se realizó de manera estratégica, por una parte debido a la Ley del Monopolio de Petróleos de 1927, que prohibía la instalación de industrias petroleras privadas en territorio español peninsular. Y por otro lado, siendo el puerto de Santa Cruz de Tenerife una ubicación de gran interés debido a la convergencia de numerosas líneas internacionales de navegación. Esta situación estratégica le ha permitido abastecer de derivados petrolíferos a diversos mercados, como son el canario, peninsular, africano y americano.

En los últimos años, la Refinería de Santa Cruz de Tenerife ha detenido su proceso de refinado, basando su actividad principal en el almacenamiento, realizando la carga y descarga de barcos y suponiendo un punto estratégico para el almacenamiento de los diferentes combustibles en las islas.

Debido a este cambio en su actividad, su principal instalación de generación de vapor ha sido reemplazada por la nueva instalación sobre la que se realizará la estrategia de mantenimiento, estando formada por dos calderas piro-tubulares capaces de abastecer la línea general de vapor de agua recalentado de la refinería para los sistemas de calefacción de tuberías, tanques y otras unidades.

## 1.3 Introducción al Mantenimiento

De cara al presente proyecto se entiende que el mantenimiento comprende el conjunto de actividades necesarias para mantener y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos e instalaciones que conforman el proceso de producción.

El principal objetivo del mantenimiento en el ámbito de este proyecto es asegurar el nivel de disponibilidad necesaria para cumplir con la producción prevista. Debido a esto, es necesario contemplar los diferentes enfoques que pueden ser planteados, dando lugar al mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo.

### 1.3.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo está formado por ajustes y cambios previstos por el fabricante y por la propia experiencia, para mantener el correcto funcionamiento y la seguridad del equipo, de acuerdo a sus características de diseño y construcción que se realizan para minimizar la probabilidad de avería y/o pérdida de rendimiento del equipo. <sup>[5]</sup>

El mantenimiento preventivo se aplica a aquellos equipos en los que es posible actuar sin afectar a los planes de fabricación, por lo que siempre se ha de llevar a cabo de forma programada, o en paradas. La forma de evitar las paradas imprevistas o intempestivas pasa por planificar unas revisiones o sustituir una serie de elementos de desgaste, que asegure el correcto funcionamiento de la máquina por un periodo de tiempo hasta la siguiente revisión.

### 1.3.2 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo o “condition monitoring”, tiene como objetivo conocer e informar del estado y operatividad de un equipo conociendo el valor de unas determinadas variables significativas lanzando predicciones sobre la posible duración de sus componentes. Este tipo de mantenimiento suele ser aplicado en equipos dinámicos y grandes máquinas, tales como turbinas de vapor y de gas, grandes motores marinos, motores de gas u otros equipos electromecánicos más sencillos. <sup>[6]</sup>

Por otro lado, el mantenimiento predictivo, debe cuantificar con el equipo en marcha, tanto las variables que informan sobre el funcionamiento de la máquina, puesta a punto, defectos de encendido, fallos de combustión, temperatura, etc. Como las variables que informan sobre el estado de sus diferentes partes mecánicas como pueden ser los aros, motores o compresores, cierre de válvulas, desgaste de cojinetes, etc.

Este último tipo de variable, encargado de indicar el estado de las partes mecánicas, requieren un primer análisis para identificar cada fenómeno y posteriormente la repetición de estos, para controlar la evolución de los parámetros medidos inicialmente. De esta forma se conoce la ley de evolución real de una variable y se lanza un pronóstico, basándose para ello en la curva de tendencia obtenida.

### **1.3.3 Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo es aquel que se realiza a un equipo cuando ya se ha producido una avería, esto permite un aprovechamiento mayor de la vida útil del equipo pero suponen un coste mayor de reparación y la aparición de paradas inesperadas que afectan a la producción.

Las tareas relacionadas con el mantenimiento correctivo en la refinería de Santa Cruz de Tenerife, son planificadas en función del método RBM o Mantenimiento Basado en el Riesgo. Este método está basado en la utilización de una matriz de riesgo, que determina la prioridad de los trabajos a realizar y que trataremos en detalle en el siguiente capítulo. <sup>[7]</sup>

## 1.4 Mantenimiento en Refinería Tenerife

La función de mantenimiento en Refinería Tenerife, se encuentra estructurada según el Manual de mantenimiento y reparación propio del grupo CEPSA y específico de la refinería. Para una mejor organización, la función de mantenimiento queda dividida en los siguientes tres departamentos:

- Mantenimiento Ordinario
- Mantenimiento Extraordinario
- Ingeniería de Mantenimiento y Procesos

### 1.4.1 Mantenimiento Ordinario

El mantenimiento ordinario engloba las tareas habituales del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, siendo posible su realización por la planta en marcha, y que en cierto modo pueden considerarse rutinarios.

Para el desarrollo de los trabajos propios del Mantenimiento Ordinario se sigue el siguiente orden: Selección y Priorización, Planificación y Programación, Ejecución y Aportación de informes.

#### 1.4.1.1 Selección y priorización

La selección y priorización de tareas se realiza con el objetivo de mantener un nivel de riesgo aceptable garantizando que los trabajos se realizan con la máxima seguridad, calidad, sin poner en riesgo el medio ambiente y optimizando el empleo de los recursos que se dispone.

#### 1.4.1.2 Planificación y Programación

Tras realizar una priorización de los trabajos, se realiza una planificación y programación de estos, utilizando los procedimientos dados por el Grupo CEPSA, en este caso el procedimiento general PR-121 (Procedimiento general de planificación y control del mantenimiento) y además el específico para el mantenimiento ordinario del SITE Canarias PR-1339 (Procedimiento Específico para la planificación y programación del mantenimiento ordinario del SITE Canarias).

#### 1.4.1.3 Realización de los trabajos

Para la realización de los trabajos, se hace uso de las "Fichas de Trabajo", fichas donde se contemplan las modificaciones y calibraciones realizadas siguiendo los procedimientos ya establecidos y siendo supervisado por el jefe de equipo responsable.

## 1.4.2 Mantenimiento Extraordinario

El mantenimiento extraordinario incluye los trabajos de mantenimiento con carácter excepcional y que por tanto presentan una carga de trabajo aleatoria al año. Este tipo de mantenimiento comprende las paradas programadas, las grandes reparaciones y las mejoras técnicas.

### 1.4.2.1 Paradas Programadas

Se califican como paradas programadas todos aquellos trabajos que deben realizarse necesariamente con la planta parada y que se han programado con suficiente antelación.

Por otro lado, los trabajos definidos para la parada son revisados con un año de antelación con la finalidad de obtener la disponibilidad requerida al mínimo coste. Para ello, la herramienta básica utilizada son las técnicas de RBI (*Risk Based Inspection*) y RBM<sup>[3]</sup> (*Risk Based Maintenance*) y como consecuencia la aplicación de la Matriz de Riesgo, cuyo funcionamiento se describe en los siguientes apartados.

### 1.4.2.2 Grandes Reparaciones

Según los manuales de CEPESA MO-0107- "*Mantenimiento basado en el Riesgo*" y PR-127- "*Procedimiento general para elaboración y control del presupuesto anual de mantenimiento en refinería*", los trabajos englobados en este grupo, al igual que las Paradas Programadas, deben estudiarse en base al nivel del riesgo definido y atendiendo a las siguientes características:

- Ser una reparación
- Suponer un coste superior a 12.000€
- Ser atípico
- Estar previsto con suficiente antelación
- No ser una reposición de la instalación

### 1.4.2.3 Mejoras técnicas

Las mejoras técnicas engloban las tareas necesarias para modificar las condiciones de diseño o de funcionamiento o para mejorar la seguridad de las personas e instalaciones y que son trabajos no considerados como propio de las tareas de mantenimiento, ni de proyecto de inversión. Además su coste no debe ser superior a los 15.000€.

### 1.4.3 Manuales CEPSA

Tanto la Refinería de Tenerife como el Grupo CEPSA en general, dispone de una serie de manuales, procedimientos generales y normas de los procedimientos y procesos que se aplican en todas sus instalaciones, con el objetivo de facilitar la gestión estandarizando los diferentes trabajos que se realizan. Estos manuales se encuentran disponibles en la red interna de CEPSA, por lo que ha sido posible la consulta durante la realización del proyecto.

De la misma forma, existen procedimientos específicos de cada una de las instalaciones pertenecientes a la Refinería, donde se adaptan los procedimientos generales a las especificaciones y características propias que puedan existir.

En la realización de este proyecto, se han tenido en cuenta tanto los procedimientos generales como los específicos y manuales nombrados a continuación:

- NO-039 - Norma básica sobre mantenimiento en el Grupo CEPSA.
- PR-133 - Procedimiento del proceso para la gestión de los trabajos de mantenimiento en el grupo CEPSA.
- PR-121 - Procedimiento general de planificación y control del mantenimiento preventivo y predictivo.
- PR-1339 - Procedimiento específico para la planificación y programación del mantenimiento ordinario del SITE Canarias.
- MO-0107-TOTAL- Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM).
- PR-030-03 - Procedimiento de gestión del mantenimiento de los activos físicos, políticas y estrategias.
- PR-127 - Procedimiento general para elaboración y control del presupuesto anual de mantenimiento en refinería.

### 1.4.4 Software utilizado (SAP)

SAP [1] es un software de tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*) [2] compuesto por un conjunto de herramientas capaz de abarcar prácticamente todos los aspectos de la administración empresarial, ejecutando y optimizando distintos aspectos como la consulta y actualización de información de equipos, acciones o procesos, sistemas de ventas y compras, fabricación, inventarios, etc.

Este sistema integrado permite sustituir un gran número de sistemas unificando toda la información en una base de datos, accesible por todo el personal autorizado de la empresa, lo que facilita la comunicación entre los diferentes departamentos de la empresa.

#### 1.4.4.1 Estructura de unidades en SAP

Para la localización e identificación de los diferentes equipos, la base de datos está estructurada de manera jerárquica, dependiendo de la unidad o el proceso del que formen parte. De esta forma, cada elemento dispone de un código, en el que se indican los diferentes niveles jerárquicos a los que pertenecen además de su propio identificador.

c.técn.	RT-02-SA1-CALD	Válido de	19.04.2017
denominación	CALDERAS DE VAPOR		
RT-02-SA1-CALD	CALDERAS DE VAPOR		
▶ RT-02-SA1-CALD-CALDERA1	CALDERA DE VAPOR 1		
▶ RT-02-SA1-CALD-CALDERA2	CALDERA DE VAPOR 2		
▶ RT-02-SA1-CALD-CIRADITIVO	CIRCUITO DE ADITIVACIÓN		
▶ RT-02-SA1-CALD-CIRAGALIM	CIRCUITO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN		
▼ RT-02-SA1-CALD-CIRFUEL	CIRCUITO DE FUEL		
• RT-02-SA1-CALD-CIRFUEL-CVD001	CVD001 DEPÓSITO NODRIZA DE FUEL		
• RT-02-SA1-CALD-CIRFUEL-CVE001	CVE001 PRECALENTADOR FUEL TANQUE NODRIZA		
• RT-02-SA1-CALD-CIRFUEL-CVE002	CVE002 PRECALENTADOR FUEL A QUEMADORES		

Figura 1: Estructura jerárquica, base de datos en SAP

Como se muestra en la *figura 1*, en el apartado “Ubicación técnica”, podemos diferenciar los diferentes niveles de manera que:

- Primer nivel, formado por los dos primeros términos (“RT”), hacen referencia al centro al que pertenece, esto se debe a que la base de datos contiene toda la información del SITE Canarias, no solo la recogida en Refinería Tenerife.

- Segundo nivel, formado por los 2 términos siguientes (“02”), corresponden a la identificación dentro de los diferentes departamentos de la refinería.
- Tercer nivel, formado por los 3 siguientes términos (“SA1”), hacen referencia a los diferentes apartados dentro de los departamentos nombrados en el segundo nivel jerárquico.
- Cuarto nivel, formado por los 4 siguientes términos (“CALD”), correspondientes a la unidad en la que se encuentra el equipo, en nuestro caso las calderas de vapor.
- Quinto nivel o *supertag*, en el que se nombra al proceso que pertenece dentro de la unidad o en nuestro caso al circuito al que pertenece.

Por último, dentro de este último nivel, se encuentran codificados los diferentes equipos que lo componen, indicando el tipo de objeto y su numeración correspondiente a la planta.

De esta manera, el código de cada elemento o *tag*, nos permite conocer a qué planta o unidad pertenece, a qué proceso dentro de esta y que tipo de elemento es de una manera rápida y sencilla.

## 1.5 Descripción de la Central de Generación de Vapor

### 1.5.1 Descripción del Proceso de la planta

El vapor de agua recalentado producido en la instalación es obtenido por el calentamiento de agua a temperatura ambiente en el interior de las cámaras de combustión de las calderas con quemadores de Fuel Oil (FO) como combustible generador de la llama. Este proceso se describe con más detalle en el apartado *1.5.4.1.1 Modo de funcionamiento (Calderas piro-tubulares)*.

El sistema de combustible está formado por un depósito de 4,5 m<sup>3</sup>, construido con capas de acero soldadas e instalado en el interior de un cubeto, dos bombas de impulsión con funcionamiento principal/reserva y la red de tuberías de alimentación a los quemadores. El suministro de FO al depósito nodriza se hace por tubería desde la red de FO de la propia refinería.

Por otro lado, el agua desmineralizada necesaria para la producción de vapor es almacenada en un depósito de 25 m<sup>3</sup>, construido con chapas de acero soldadas, ubicado en el interior del edificio de las calderas y alimentado a su vez desde la red de agua desmineralizada de la propia refinería. Desde este depósito es impulsado a las calderas por medio de una red de tuberías y una estación de bombeo formado por tres electrobombas, una destinada a cada caldera y la tercera de reserva común para ambas. El depósito de agua desmineralizada cuenta con un botellón desgasificador.

Además de los equipos principales, cada caldera cuenta con equipos de recuperación de calor residual, destinados a mejorar su rendimiento, estos equipos son:

- Recalentador de vapor, encargado de aprovechar el calor de los gases de combustión para recalentar el vapor de agua producido en la caldera.
- Intercambiador de calor de gases de escape, encargado de aprovechar el calor de los gases de escape para recalentar el agua de alimentación antes de su entrada a la caldera.
- Precalentador de agua de alimentación, encargado de calentar el agua de alimentación aprovechando el calor del vapor recalentado, antes de su entrada al intercambiador de gases de escape.
- Precalentador de combustible, para calentamiento de FO aprovechando el calor del vapor de agua recalentado.

Por otro lado, la central de producción de vapor contará además con las siguientes unidades auxiliares comunes a ambas calderas:

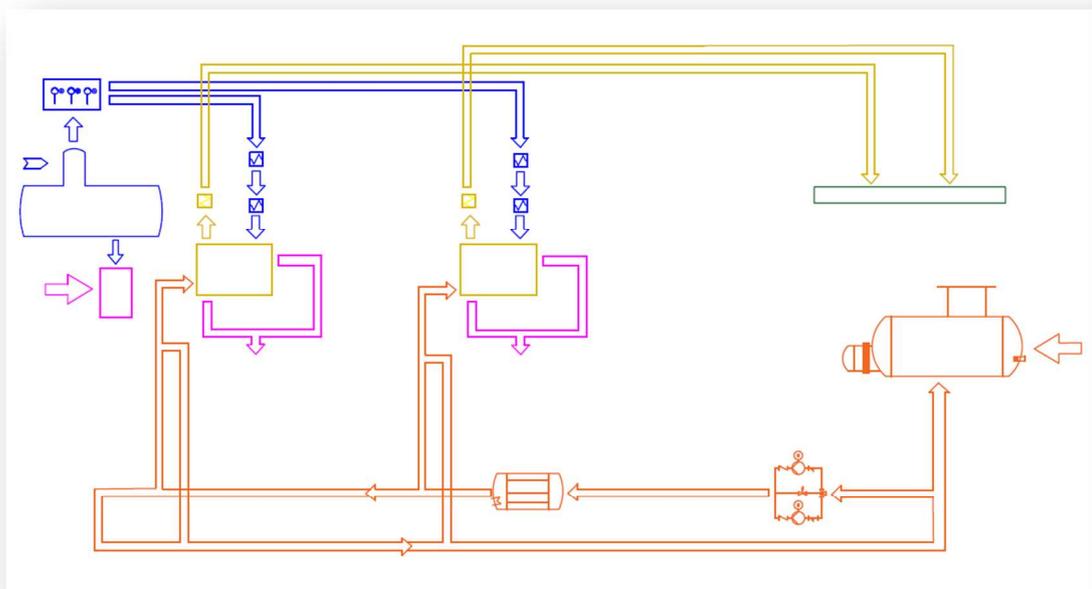
- Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento, destinado a enfriar por intercambio de calor con agua de planta a temperatura ambiente los lodos de las purgas de la red de vapor, previamente a su vertido a la red de purgas y lodos.
- Planta de aditivación, destinada a aditivar de forma automática el agua de alimentación de calderas.

Tras el paso por los intercambiadores, los gases de combustión son evacuados por medio de chimenea de 20 metros de altura y 1,15 metros de diámetro, con medición de emisiones en continuo.

El vapor producido es enviado a la red de Vapor de Media de la refinería a través del colector de salida de vapor. El depósito de agua de alimentación será a su vez el encargado de recoger los condensados de dicha red.

Para estudiar en detalle la instalación, podemos dividirla en varias partes:

- Circuito alimentación-precalentamiento de agua de alimentación (representado en azul)
- Circuito de fuel (representado en naranja)
- Circuito de vapor (representado en amarillo)
- Circuito de purgas (representado en violeta)
- Circuito Colector (representado en verde)



	DEPÓSITO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN Y DESGASIFICADOR
	BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN
	DISPOSITIVOS DE PURGA DE LODOS, DE EXPANSIÓN Y DE ENFRIAMIENTO BEM
	CALDERAS PIROTUBULARES
	RECALENTADOR
	PRECALENTADOR DE COMBUSTIBLE
	MÓDULO DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE
	DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE
	COLECTOR

Figura 2: Diagrama del proceso de la instalación (izquierda), tabla de símbolos (derecha)

### 1.5.2 Circuito alimentación-precalentamiento de agua

Sistema de tuberías y equipos, destinados a la alimentación/ trasvase/ precalentamiento de agua de alimentación a las dos calderas de vapor asociados a la central de producción de vapor sobrecalentado.

A continuación se describen las características de cada uno de los equipos e instrumentación que conforman este circuito.

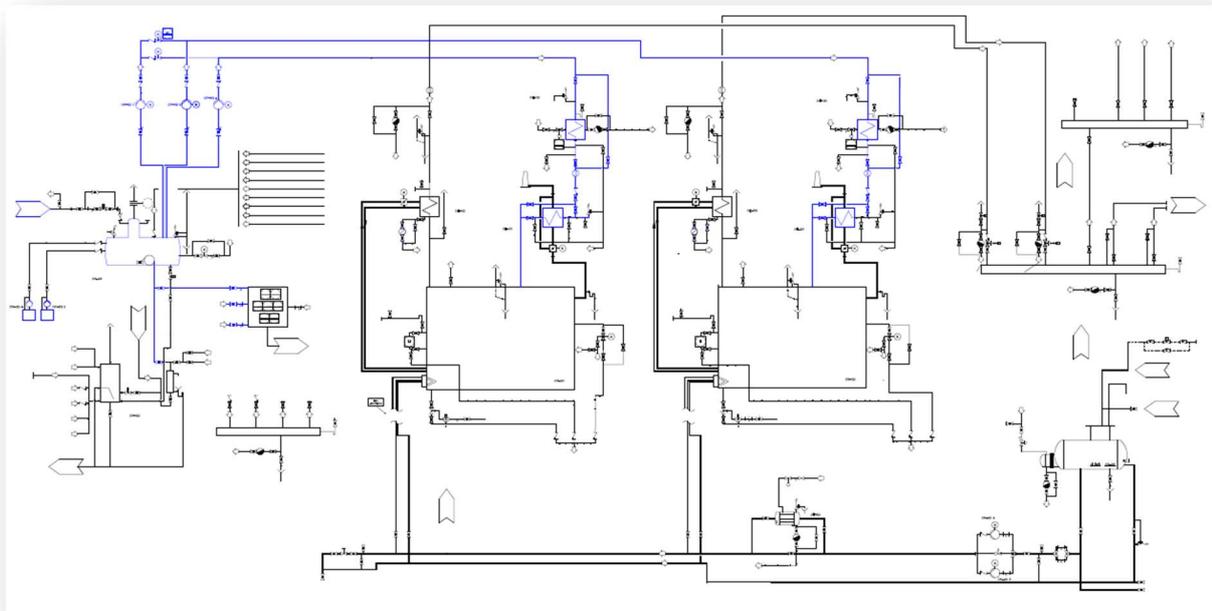


Figura 3: Esquema general de la Central de Generación de Vapor, Circuito de alimentación-precalentamiento de agua (representado en azul)

#### 1.5.2.1 Depósito de agua de alimentación y desgasificador

El suministro de agua de alimentación a las calderas está formado por un depósito de agua cilíndrico de eje horizontal, con una capacidad de 25 m<sup>3</sup> y construido con chapas de acero soldadas.

Además este depósito contará en su parte superior con un desaireador de tipo desgasificador por riego, destinado a la evacuación de vapor del retorno de condensados. El depósito desgasificador se encuentra acoplado al propio tanque de agua, construido en chapa de acero y con una capacidad de 1313 litros.

#### 1.5.2.1.1 Modo de funcionamiento

El agua a desgasificar, compuesta por el condensado con oxígeno sin presión y agua adicional, se conduce hacia el desgasificador mediante los elementos dispuestos en cascada, aumentando la superficie del agua considerablemente. De esta manera se produce una separación espontánea de los gases inertes (oxígeno, dióxido de carbono o nitrógeno) del agua. Al mismo tiempo que el agua corre lentamente hacia abajo a través de los elementos en cascada, se calienta por el flujo ascendente del vapor, quedando casi totalmente libre de oxígeno y de dióxido de carbono.

En el caso del condensado transportado por su propia presión no existe ninguna posibilidad de que penetre oxígeno, es decir que no contiene oxígeno y por eso tampoco hace falta desgasificar. Ese condensado sin oxígeno debe conducirse al depósito de agua de alimentación.

La óptima distribución del condensado en el depósito de agua de alimentación permite ahorrar vapor de calentamiento y por consiguiente, también combustible.

Por otro lado, el nivel de agua en el depósito varía en función de la diferencia entre la toma y la alimentación de agua. Estos cambios de nivel se registran mediante el transmisor de nivel y se comunica a la unidad de control. La señal de salida de la unidad de control pone en funcionamiento la válvula de control para el agua adicional o la bomba de condensado. Estos componentes regulan el volumen de agua que entra a través del depósito en el desgasificador.

#### 1.5.2.1.2 Instrumentos que lo componen

- CV-LIC-0017      Controlador de nivel
- CV-PIC-0018      Controlador de presión
- CV-PSV-0015      Válvula de retención
- CV-PSV-0019      Válvula de seguridad
- CV-PSV-0023      Válvula de seguridad
- CV-MV-0168      Válvula motorizada
- CV-LV-0005      Válvula magnética roscada
- CV-F-0167      Filtro en Y de tamiz desmontable

### 1.5.2.2 Precalentador de agua de alimentación

Cada caldera cuenta con un pre-calentador de agua de alimentación que aprovecha el vapor recalentado de la red de vapor media para subir la temperatura desde los 103°C hasta los 130°C, temperatura de entrada al intercambiador de calor de gases de escape (economizador).

Se trata de un intercambiador de calor tubular con una potencia de 580 kW.

#### 1.5.2.2.1 Instrumentos que lo componen

- |                    |                                  |
|--------------------|----------------------------------|
| - CV-TI-1033/2033  | Termómetro                       |
| - CV-PI-1035/2035  | Manómetro                        |
| - CV-TIC-1044/2044 | Controlador de temperatura       |
| - CV-TI-1045/2045  | Termómetro                       |
| - CV-F-1042/2042   | Filtro en Y de tamiz desmontable |
| - CV-PSV-1034/2034 | Válvula de seguridad             |

### 1.5.2.3 Economizador

Cada caldera cuenta con un intercambiador de calor que aprovecha los gases de escape para calentar el agua de alimentación antes de su entrada a las calderas, subiendo la temperatura desde los 130°C (temperatura de salida del pre-calentador de agua de alimentación) hasta los 163°C.

Se trata de un intercambiador de calor tubular por convección con una potencia de 692 kW.



Figura 4: Economizador

#### 1.5.2.3.1 Modo de funcionamiento

Con el economizador se recupera el calor de los gases residuales procedentes de la caldera, fluyendo primero el agua de alimentación a través de los tubos del recuperador de calor antes de ser conducida hacia la caldera. Durante este proceso, el agua de alimentación (más fría) se calienta por medio de los gases residuales de la caldera (más calientes), mientras que a la vez se reduce la temperatura de los gases residuales.

La energía obtenida provoca un aumento del rendimiento de la caldera y por ello una reducción del consumo de combustible y de las emisiones de gases residuales.

Cuando se produce un descenso excesivo de la temperatura del gas de escape después del Economizador, en la regulación de la zona de escape se desvía una parte o la totalidad de la corriente de gases de escape de la caldera al Economizador a través de la válvula de control de gas, hasta que se alcance después de este una temperatura de gases de escape preajustada para evitar que la temperatura caiga por debajo del punto de condensación.

#### 1.5.2.3.2 Instrumentos que lo componen

- CV-PI-1059/2059 Manómetro
- CV-TI-1064/2064 Termómetro
- CV-PSV-1057/2057 Válvula de seguridad

#### **1.5.2.4 Bombas de agua de alimentación**

El sistema de bombeo de agua de alimentación está formado por tres electrobombas, una por caldera y una común de reserva.

Se trata de electrobombas de 22 kW de potencia con las que se bombea el agua tratada del depósito de agua de alimentación hacia el precalentador de agua.

#### 1.5.2.4.1 Instrumentos que lo componen

- CV-P-0026/1026/2016 Bomba de agua de alimentación
- CV-PI-0027/1027/2027 Manómetro
- CV-F-0025/1025/2025 Filtro en Y de tamiz desmontable
- CV-MV-1031/2031 Válvula motorizada

#### **1.5.2.5 Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación**

El circuito de alimentación de agua cuenta con un sistema de medida en continuo y dosificación de aditivos al agua de alimentación de calderas. Los tres módulos de medida miden los respectivos parámetros de agua y estos valores son transmitidos a la unidad de control.

#### 1.5.2.5.1 Instrumentos que lo componen

- CV-QIC-0175 Transductor (PH)
- CV-QIC-0177 Transductor (Contenido en oxígeno)
- CV-QIC-0180 Transductor (Dureza)
- CV-PI-0009 Manómetro de bomba de dosificación 1
- CV-PI-0010 Manómetro de bomba de dosificación 2
- CVP-003 A Bomba de aditivación 1
- CVP-003 B Bomba de aditivación 2

### 1.5.3 Circuito de fuel

Sistema de tuberías y equipos destinados al almacenamiento, acondicionamiento, distribución y combustión del fuel para una óptima generación de vapor. A continuación se describe el circuito y los equipos que lo componen.

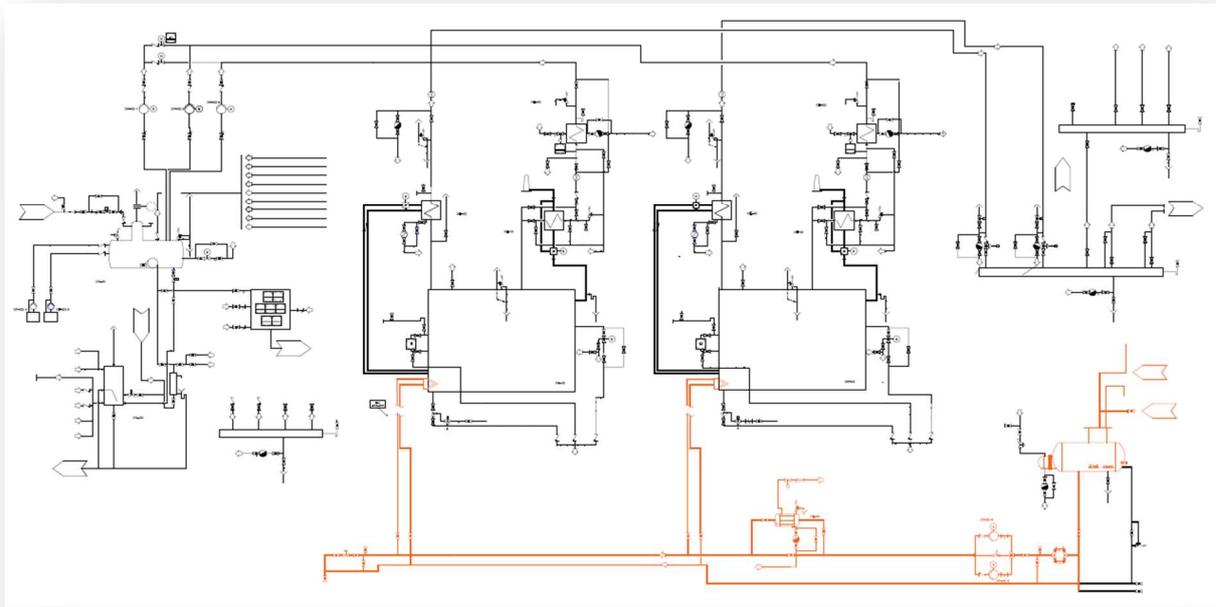


Figura 5: Esquema general de la Central de Generación de Vapor, Circuito de Fuel (representado en naranja)

#### 1.5.3.1 Depósito de combustible

El depósito de Fuel-Oil encargado de la alimentación a las calderas, se trata de un cilindro de eje horizontal, con una capacidad de 4.5m<sup>3</sup>, construido con chapas de acero soldadas.

##### 1.5.3.1.1 Instrumentos que lo componen

- |               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| - CV-TIC-0233 | Controlador de temperatura       |
| - CV-TAL-0234 | Limitador de temperatura         |
| - CV-LT-0247  | Transmisor de nivel              |
| - CV-LAL-0245 | Limitador de nivel               |
| - CV-LIC-0244 | Controlador de nivel             |
| - CV-TT-0236  | Transmisor de temperatura        |
| - CV-TAH-0237 | Limitador de temperatura         |
| - CV-TIC-0308 | Termostato                       |
| - CV-TV-0251  | Válvula termostática             |
| - CV-F-020    | Filtro en Y de tamiz desmontable |
| - CV-PSV-0232 | Válvula de seguridad             |

### 1.5.3.2 Módulo de alimentación de FO

El sistema de bombeo de combustible desde el depósito hasta los quemadores de las calderas, está formado por dos electrobombas cuyo funcionamiento es principal-reserva. Cada electrobomba tiene una capacidad de bombeo de 3.792 l/h, suficiente para alimentar ambas calderas de forma simultánea.

#### 1.5.3.2.1 Instrumentos que lo componen

- CV-HCV-0257 Filtro doble conmutable
- CV-F-0258 Filtro doble conmutable
- CV-F-0259 Filtro doble conmutable
- CV-HCV-0260 Filtro doble conmutable
- CV-PI-0261 Manómetro
- CV-PI-0269 Manómetro
- CV-PI-0270 Manómetro
- CV-PI-0266 Manómetro
- CV-TI-0264 Termómetro

### 1.5.3.3 Precalentador de combustible

La central de generación de vapor cuenta con un precalentador de combustible, que aprovechara el vapor recalentado de la red de vapor de media para subirle la temperatura desde los 49°C (temperatura de almacenamiento) hasta los 94°C (temperatura de entrada a las calderas).

Se trata de un intercambiador de calor tubular con una potencia de 12.1 kW y cuenta con un filtro para Fuel-Oil a la entrada.



*Figura 6: Precalentador de combustible*

#### 1.5.3.3.1 Instrumentos que lo componen

- CV-PI-0312 Manómetro
- CV-TI-0207 Termómetro
- CV-TSH-0208 Limitador de temperatura
- CV-PT-0303 Transmisor de temperatura

- CV-PI-0302 Manómetro
- CV-TI-0304 Termómetro
- CV-TIC-0305 Controlador de temperatura
- CV-TIC-0306 Controlador de temperatura
- CV-TIC-0310 Termostato de abrazadera
- CV-PSV-0205 Válvula de seguridad
- CV-MV-0204 Válvula motorizada
- CV-F-0203 Filtro en Y de tamiz desmontable

#### 1.5.3.4 Equipo de combustión

El equipo de combustión de cada caldera está formado por el quemador y el ventilador para toma de aire, con sistema de regulación continua modulante.



Figura 7: Equipo de combustión SAAKE-SKV-A

##### 1.5.3.4.1 Instrumentos que lo componen

- CV-TSL-1278/2278 Termostato
- CV-TSH-1279/2279 Termostato
- CV-PI-1280/2280 Manómetro
- CV-TI-1282/2282 Termómetro
- C-FV-1283/2283 Indicador de volumen de aceite
- CV-RO-1281/2281 Reductora de fuel
- CV-FT-1284/2284 Transmisor de caudal
- CV-PCV-1273/2273 Válvula reguladora de presión
- CV-F-1285/2285 Filtro
- CV-EV-1287/2287 Válvula de corte de seguridad (Fuel)
- CV-FV-1288/2288 Válvula de mariposa motorizada (Aire)
- CV-FV-1292/2292 Válvula de mariposa motorizada (Aire)
- CV-M-1289/2289 Ventilador
- CV-EV-1293/2293 Válvula de corte de seguridad (Gas)
- CV-PCV-1296/2296 Válvula reguladora de presión

### 1.5.3.5 Módulo de regulación de presión

El circuito de fuel-oil dispone de un módulo para la regulación de presión a lo largo de todo el circuito.

#### 1.5.3.5.1 Instrumentos que lo componen

- CV-PI-0221 Manómetro (grupo de regulación)
- CV-TT-0216 Transmisor de temperatura
- CV-PR-0220 Transmisor de presión
- CV-PV-0223 Válvula diferencial de seguridad

### 1.5.4 Circuito de vapor

El circuito de vapor comprende dos de los principales e indispensables equipos para la generación de vapor calentado y sobrecalentado, como son las calderas y el recalentador. A continuación se describe el circuito y los equipos nombrados.

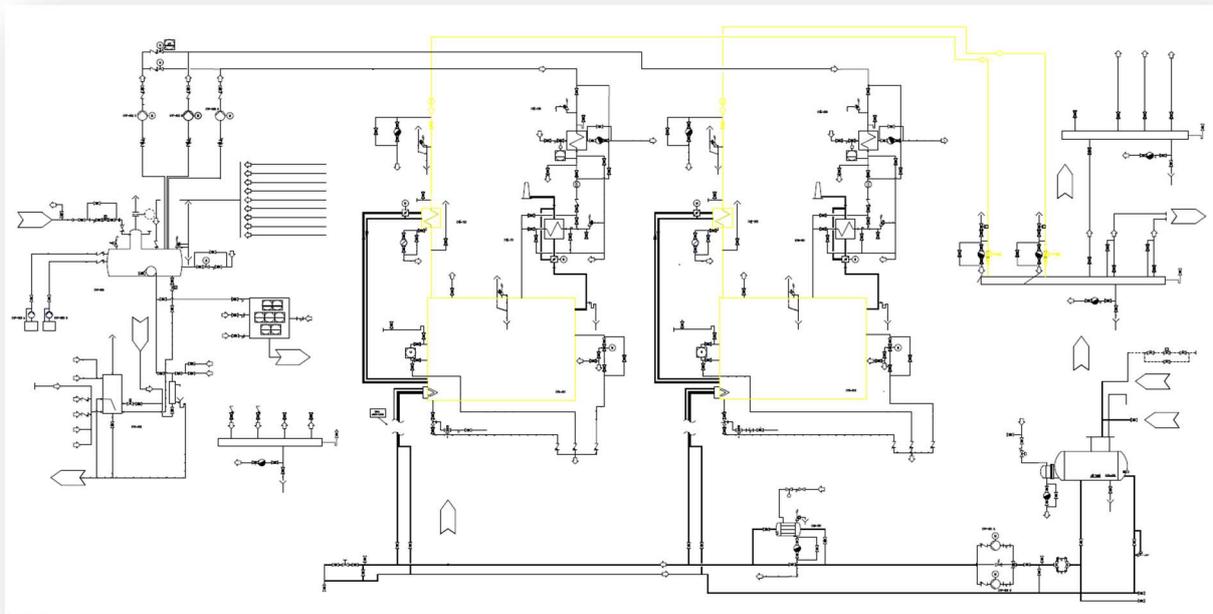


Figura 8: Esquema general de la Central de Generación de Vapor, Circuito de Vapor (representado en amarillo)

#### 1.5.4.1 Calderas piro-tubulares

La central de generación de vapor cuenta con dos calderas piro-tubulares de tres pasos de hogar interior, siendo el hogar la cámara de combustión donde es quemado el combustible. Durante el servicio, los tres cuartos inferiores del cilindro

horizontal (ver figura 10) se encuentran llenos de agua, mientras que el cuarto superior de la cámara es vapor. A través del cuerpo cilíndrico pasan en sentido longitudinal el hogar y los tubos de humos.

La llama se insufla desde el extremo delantero de la caldera, desde el quemador, hacia el hogar, donde se apaga. Los gases de humo calientes, producidos al apagarse la llama, se conducen hacia muchos tubos de humos pequeños. A través de estos tubos, los gases se conducen a través de la caldera al extremo posterior de la caldera.



*Figura 9: Caldera pirotabular, vista lateral (izquierda), vista frontal (derecha)*

#### 1.5.4.1.1 Modo de funcionamiento

La llama y los gases de humos producidos corren a través del hogar y a través de los tubos de humos. En la zona de estos tubos, el propio cuerpo de presión de la caldera está lleno de agua. El agua enfría el lado exterior de los tubos de humos y los hogares que se encuentran longitudinalmente en el cuerpo de presión de la caldera, durante este enfriamiento, el agua de la caldera se calienta hasta el punto en el que llega a evaporarse. De esta forma, las burbujas de vapor ascienden a la cámara de vapor que se encuentra en la parte superior de la caldera.

Para que el hogar de los tubos de humos no se caliente excesivamente durante el servicio y para que no se dañen, siempre deben estar cubiertos de agua.

El transductor de nivel mide la altura del agua y cuida de que la bomba de alimentación se ponga en funcionamiento en caso necesario. Cuando este dispositivo falla, existen uno o dos dispositivos de seguridad adicionales para la limitación de nivel, que provocan una desconexión por avería y el bloqueo del encendido y del calentamiento en cuanto se alcanza el nivel bajo de agua o no se llega a este.

Por otro lado, la potencia del quemador y por tanto la cantidad de vapor necesaria, se ajusta a través de la presión media de servicio. Cuando la presión del vapor en la caldera cae a un nivel más bajo que el valor ajustado, el quemador se conecta o la potencia del quemador aumenta ya que se requiere vapor.

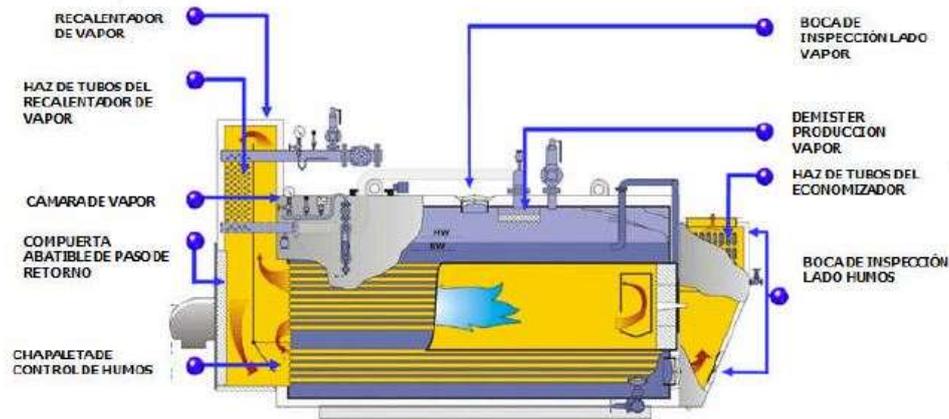


Figura 10: Esquema Caldera Piro tubular

Cuando la presión del vapor en la caldera alcanza el valor de ajuste máximo, el quemador se desconecta, ya que entonces no se requiere vapor. Además, este limitador de presión también ha fallado, una válvula de presión de seguridad reacciona y el vapor se sopla al exterior por una tubería.

#### 1.5.4.1.2 Instrumentos que lo componen

- CV-TIC-1065/2065 Controlador de temperatura de gases de escape (entrada economizador)
- CV-MV-1066/2066 Válvula de mariposa motorizada (Gas)
- CV-TIC-1067/2067 Controlador de temperatura de gases de escape (salida economizador)
- CV-LIC-1069/2069 Controlador de nivel
- CV-PIC-1078/2078 Controlador de presión
- CV-PI-1079/2079 Manómetro
- CV-LI-1082/2082 Indicador de nivel
- CV-CI-1089/2089 Controlador de conductividad
- CV-PSV-1072/2072 Válvula de seguridad

### 1.5.4.2 Recalentador

Cada caldera cuenta con un recalentador de vapor que aprovecha los gases de escape para recalentar el vapor a su salida de la caldera. Se trata de un intercambiador de calor tubular por convección, capaz de elevar la temperatura del vapor de agua generado por las calderas hasta los 245°C a 14.2 bar.

#### 1.5.4.2.1 Instrumentos que lo componen

- CV-TI-1114/2114 Termómetro de lectura remota
- CV-TIC-1112/2112 Controlador de temperatura
- CV-TR-1111/2111 Transmisor de temperatura
- CV-TAH-1110/2110 Limitador de temperatura
- CV-PI-1109/2109 Manómetro
- CV-TT-1124/2124 Transmisor de temperatura
- CV-PT-1123/2123 Transmisor de presión
- CV-FT-1121/2121 Transmisor de caudal
- CV-PSV-1115/2115 Válvula de seguridad
- CV-TV-1107/2107 Válvula reguladora de temperatura motorizada

### 1.5.5 Circuito de purgas

Este circuito es el encargado de realizar las purgas de los diferentes equipos implicados en la producción de la planta. Seguidamente se describe el circuito y los equipos que lo componen.

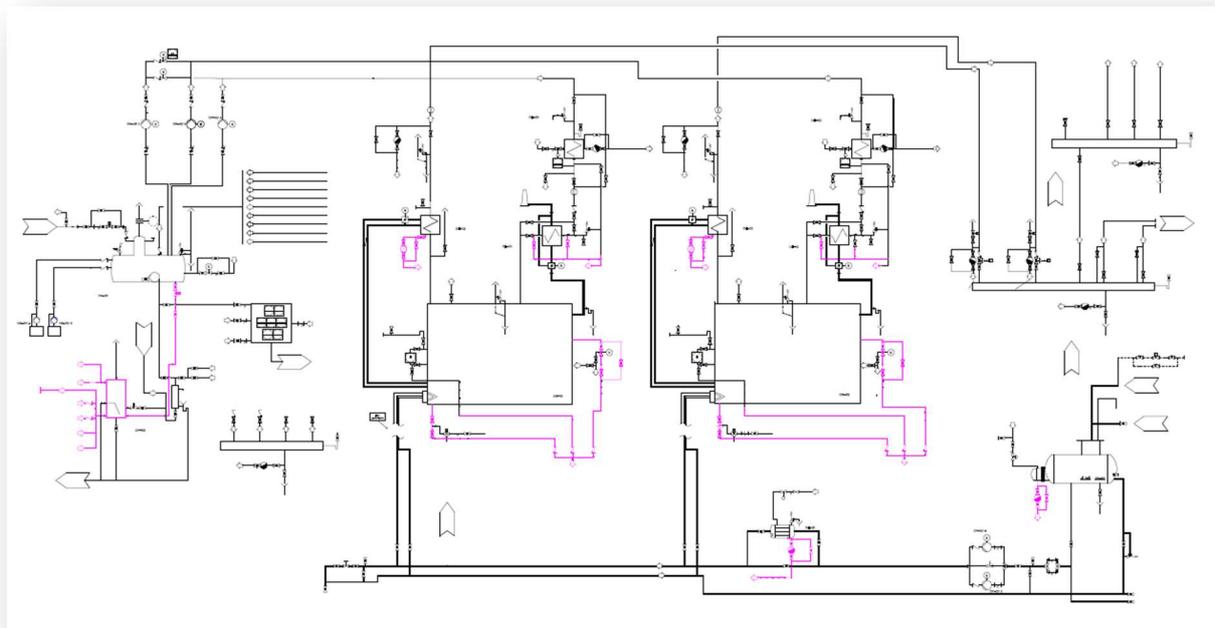


Figura 11: Esquema general de la Central de Generación de Vapor, Circuito de Purgas (representado en violeta)

### 1.5.5.1 Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM

El módulo consiste en un cilindro vertical, cerrado con fondos a ambos lados y provisto en todo su alrededor con una protección contra contactos involuntarios. Por la integración constructiva del rebose mecánico, la mitad inferior del módulo está llena durante el funcionamiento, mientras que la mitad superior es la cámara de vapor. La zona inferior del módulo tiene un transmisor de medición de la temperatura instalado.



Figura 12: Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM

#### 1.5.5.1.1 Modo de funcionamiento:

Las aguas de descarga que se toman en la caldera de vapor, son conducidas por tuberías separadas hacia el módulo. De esta manera podemos distinguir entre dos tipos de agua de descarga:

- Aguas de descarga termoconductoras sobre la temperatura de ebullición ambiente. Estas son conducidas hacia la cámara de vapor del módulo.
- Aguas de descarga termoconductoras bajo la temperatura de ebullición a presión ambiente. Estas son conducidas hacia la cámara de agua del módulo.

La admisión al módulo y evacuación del módulo de las diferentes aguas de descarga provoca el cambio de la temperatura. El transmisor de presión de medición de temperatura capta la temperatura del medio existente en el módulo y se transforma en una señal eléctrica normalizada (4 - 20 mA).

En cuanto a la regulación de la temperatura del agua de descarga, y con ello, la cantidad de agua refrigerante necesaria, se ajusta por la temperatura de descarga al sistema de alcantarillado. De esta manera, si la temperatura del agua de descarga sube en el módulo a un nivel superior al valor ajustado, entonces se abrirá la válvula

de control de agua refrigerante. Si por el contrario, el agua de descarga en el módulo alcanza el valor teórico ajustado, la válvula de control del agua refrigerante se cerrará.

Por último, el vapor de expansión producido en el recipiente se conduce a través de la tubería de aireación por el techo al exterior sin ocasionar peligros. El agua residual es mezclada con el agua remanente en el módulo y con el agua refrigerante adicionada. Esta mezcla de agua se conduce por la conexión de desagüe a la red de alcantarillado.

#### 1.5.5.1.2 Instrumentos que lo componen:

- CV-PI-0195 Manómetro
- CV-TIC-0196 Controlador de Temperatura
- CV-TV-0197 Válvula magnética
- CV-LV-0193 Válvula magnética

### **1.5.5.2 Módulo refrigerador de toma de muestras SCM**

#### 1.5.5.2.1 Modo de funcionamiento

El agua de alimentación caliente o el agua de la caldera caliente es conducida a través de un serpentín de refrigeración de acero especial. El serpentín especial está dispuesto delante de un recipiente que está bajo agua de refrigeración. Con el circuito correspondiente, el refrigerador de toma de muestras puede usarse tanto para enfriar el agua de alimentación de la caldera como el agua de la caldera.

### **1.5.5.3 Dispositivos de purgas en equipos**

#### Calderas de vapor

- CV-EV-1096/2096 Válvula magnética
- CV-CIV-1086/2086 Válvula motorizada (purga de sales)
- CV-F-1097/2097 Filtro

#### Módulo SCM

- CV-HV-1095/2095 Válvula automática (purga de lodos)

#### Recalentador

- CV-HCV-1104/2104 Conjunto purgador

#### Depósito de combustible

- CV-USV-0253 Conjunto purgador

#### Pre calentador de fuel

- CV-USV-0210 Conjunto purgador

#### Pre calentador de agua de alimentación

- CV-USV-1038/2038 Conjunto purgador

#### Economizador

- CV-USV-1059/2059 Conjunto purgador

### 1.5.6 Circuito colector

El circuito colector es el encargado de realizar la distribución del vapor saturado y vapor sobrecalentado generado por las calderas a la red de refinería y otros procesos.

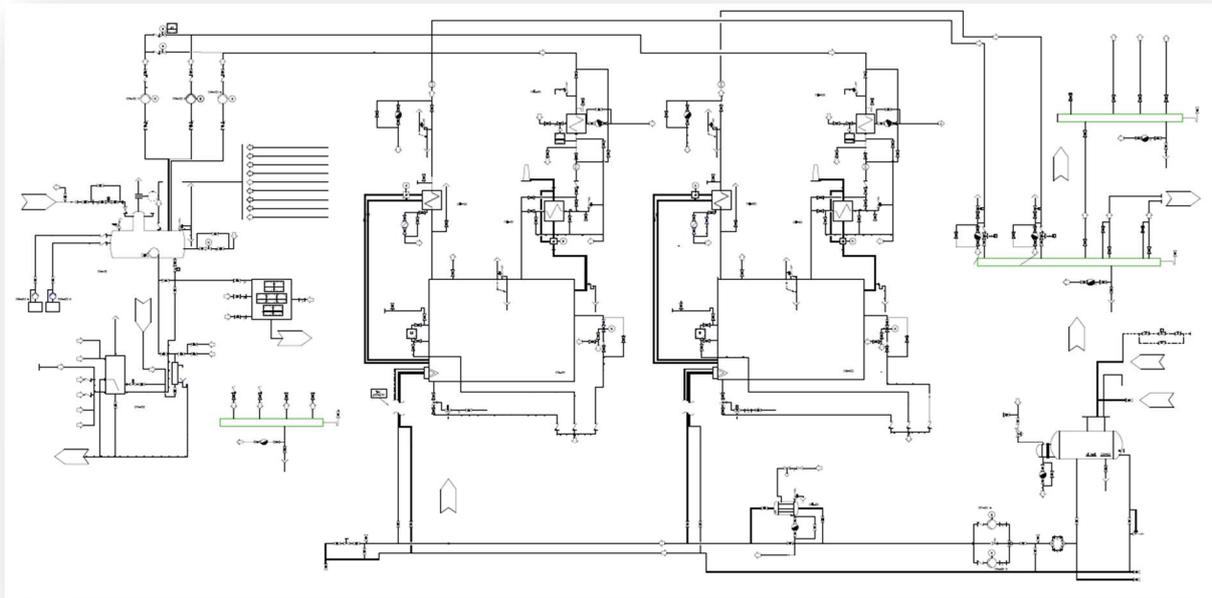


Figura 13: Esquema general de la Central de Generación de Vapor, Circuito Colector (representado en verde)

#### 1.5.6.1 Colector SD-SS (Vapor saturado)

Instrumentos que lo componen

- CV-PI-0160 Manómetro

#### 1.5.6.2 Colector SD-SH 1 (Vapor sobrecalentado)

Instrumentos que lo componen

- CV-PT-0134 Transmisor de presión
- CV-PI-0152 Manómetro
- CV-HV-1133/2133 Válvula con actuador eléctrico
- CV-HV-1126/2126 Válvula triple excéntrica con actuador

#### 1.5.6.3 Colector SD-SH 2 (Vapor sobrecalentado servicios)

Instrumentos que lo componen

- CV-PI-0142 Manómetro

## 2. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

### Metodología del trabajo aplicado

Con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de la nueva instalación y maximizar la disponibilidad de las unidades al menor costo posible, se plantea una estrategia de mantenimiento considerando los siguientes puntos:

- Definir la **Metodología general aplicada** a las unidades, de cara a establecer una buena valoración del riesgo y la priorización de los trabajos.
- **Análisis de la información**, realizando un estudio previo de la instalación, funcionamiento e información de los equipos e instrumentación que dispone la planta. En este estudio previo, se realizará la identificación de cada uno de los equipos, sus especificaciones técnicas y la disponibilidad de otro equipo de reserva en la instalación.
- **Evaluación del riesgo y clasificación de los equipos** teniendo en cuenta los siguientes pasos:
  - Determinación de las funciones y consecuencias de fallo.
  - Determinación de la criticidad.
- **Mitigación del riesgo**, determinando las acciones requeridas, ya sea mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y/o detectivo.

### 2.1 Metodología general aplicada

#### 2.1.1 Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)

El Mantenimiento Basado en el Riesgo <sup>[3]</sup> permite utilizar el riesgo como una herramienta para seleccionar y priorizar los programas de inspección y mantenimiento. Este método permite concentrar los esfuerzos de inspección y mantenimiento en aquellos equipos con mayor riesgo y por tanto los más importantes para la producción, permitiendo incrementar los tiempos entre paradas y aumentar la disponibilidad de la planta, mejorando o manteniendo los mismos niveles de riesgo.

Este método es válido para cualquier tipo de equipo a presión, instrumentos, controladores e instalaciones y está basado en los siguientes objetivos:

- Identificar las áreas de alto riesgo en cada Unidad
- Estimar el riesgo asociado a cada equipo de la planta

- Priorizar los equipos en función del riesgo asociado
- Diseñar un programa adecuado de inspección

Con el objetivo de conseguir una buena priorización en los trabajos a realizar, es utilizada la matriz de riesgo, lo que permite determinar el riesgo teniendo en cuenta la consecuencia y la probabilidad de que ocurra el fallo.

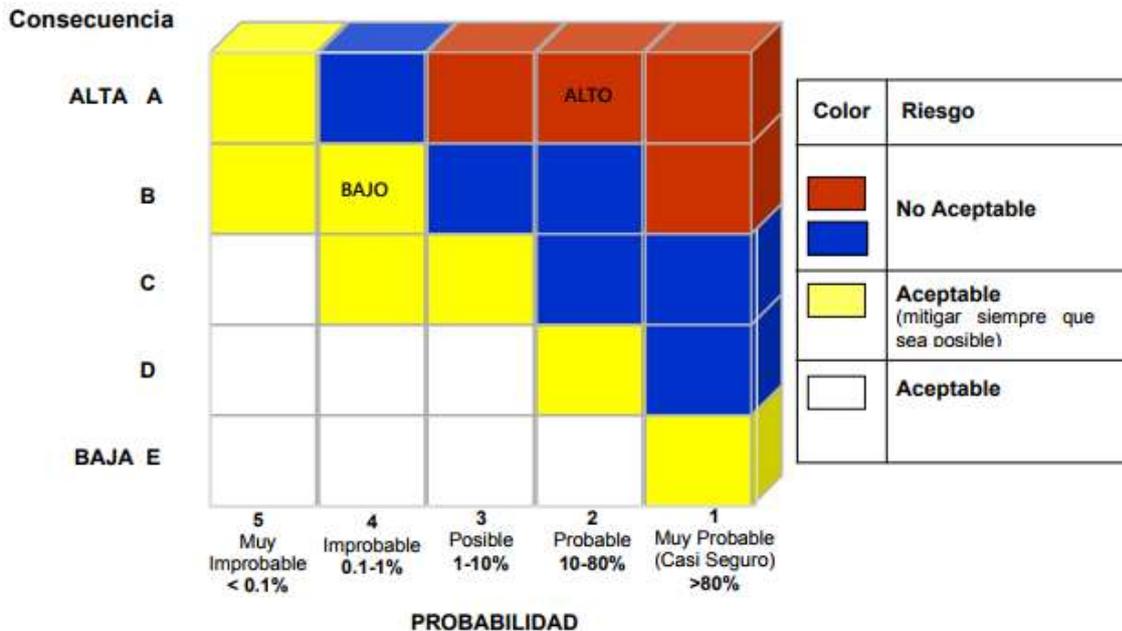


Figura 14: Matriz de Riesgo (manual MO-0107- Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM))

El uso de la matriz de riesgo consistirá en determinar el riesgo, siendo este la consecuencia por la probabilidad, para distintos periodos de tiempo. Estos intervalos de tiempo serán cada vez menores, de forma que el riesgo disminuirá a medida que disminuya el periodo considerado, situándonos desde una posición de riesgo “No Aceptable” (rojo o azul) hasta una posición de riesgo “Aceptable” (amarilla o blanca). Este periodo en el que nos situemos marcará el tiempo del que se dispone para la realización del trabajo, por tanto dará lugar a una priorización del trabajo.

## 2.2 Análisis de la información

En primer lugar, se ha hecho una recopilación de toda la información disponible en la base de datos ya existente de la plataforma SAP, al tratarse de una nueva instalación, la base de datos no dispone de toda la información necesaria para realizar un listado de los equipos. Debido a esto, se ha procedido a identificar la

instrumentación haciendo uso de los manuales aportados por la empresa responsable de la fabricación e instalación de la planta, en este caso BOSCH<sup>[9]</sup>.

Por otro lado, ha sido necesaria la comunicación con los diferentes departamentos de ingeniería dentro de Refinería Tenerife y con los proveedores para la recopilación de algunos manuales e información de instrumentos ya que no se disponían los originales aportados en la instalación de la planta.

Además de conocer las especificaciones técnicas, es necesario conocer la configuración operacional en la que se encuentran estos equipos, es decir, si la instalación dispone de un equipo similar que sirva de reserva y pueda suplir a éste en caso de una parada necesaria por avería o por tareas de mantenimiento. Si por el contrario no se dispone de equipo de reserva, se debe valorar la disponibilidad de by-pass, que permita redirigir el flujo de producto para poder retirar o reparar el equipo.

## 2.3 Evaluación del riesgo y clasificación de los equipos

Para la evaluación y clasificación de los equipos según sus funciones y criticidades, es necesario conocer además de la información técnica, la información aportada por el personal del área donde se encuentra la instalación y por el personal del departamento de mantenimiento.

### 2.3.1 Determinación de las funciones y consecuencias de fallo

Para la posterior definición de las criticidades que tienen los diferentes equipos que componen la central de generación de vapor, es necesario determinar la función y las consecuencias de fallo de esta, tanto a nivel de unidad como a nivel de *supertag*.

#### 2.3.1.1 Funciones y consecuencias de fallo de la Central de Generación de Vapor a nivel unidad

**Función de la unidad:** la función de esta unidad en la refinería es la generación de vapor de agua recalentado a 245°C y 14 kg/cm<sup>2</sup> necesario para los sistemas de calefacción de tuberías, tanques y otras unidades de la refinería.

**Consecuencia de fallo:** en caso de que existiese algún problema en ambas calderas que obligase a la parada total de la unidad, supondría una parada total pasadas las 78 horas, de los sistemas de calefacción de tuberías y tanques, principalmente de fuel y asfalto. Además supondría la parada de otras unidades de la refinería.

2.3.1.2 Funciones y consecuencias de fallo de los circuitos (nivel de supertag)

**Circuito alimentación y precalentamiento de agua**

Función: Acondicionamiento y distribución del agua de alimentación de calderas para la óptima producción de vapor.

Consecuencia de fallo: El fallo de este circuito supondría la falta de alimentación de agua a las calderas, por tanto la parada total de la instalación.

**Circuito de fuel**

Función: Acondicionamiento y distribución del fuel para producción de vapor en las calderas.

Consecuencia de fallo: El fallo en este circuito supondría la falta de alimentación de fuel a los quemadores de las calderas, produciendo por tanto la parada total de la instalación.

**Circuito de vapor**

Función: Producción de vapor de agua saturado y sobrecalentado para la utilización en otros procesos de la refinería.

Consecuencia de fallo: El fallo en este circuito supondría la falta de generación de vapor y por tanto la parada total de la instalación.

**Circuito de purgas**

Función: Realización de purgas en los diferentes equipos de la instalación para mantener la concentración adecuada de un parámetro.

Consecuencia de fallo: El fallo en este circuito afectaría al sistema de purgas de los diferentes equipos, pudiendo causar el fallo de estos.

**Circuito colector**

Función: Distribución del vapor saturado y vapor sobrecalentado generado por las calderas a la red de refinería y otros procesos.

Consecuencia de fallo: El fallo en este circuito supondría la falta de alimentación de vapor saturado y vapor sobrecalentado a la red de refinería, lo que supondría la parada total de la refinería transcurridas 78 horas.

2.3.1.3 Consecuencia de fallo de equipos

Es necesario definir a nivel de equipo, cuál sería su fallo funcional, la causa de este, junto con las evidencias y las consecuencias que produce en caso de que ocurra el fallo. De esta manera podemos concluir con la siguiente tabla:

Tabla 1: Fallo funcional (Circuito de alimentación-precalentamiento de agua):

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa de)	EFEECTO
1 Desgasificación y suministro de agua de alimentación a las calderas de vapor	A No suministrar agua de alimentación	1 Falta de energía eléctrica	Evidencia: Parada de unidades motorizadas y señales de control. Parada de la instalación.
		2 Falta de suministro de agua a FTW	Evidencia: Disparo CV-LAL0016 Desciende el nivel de agua del desgasificador (disparo CV-LAL0016). Paro de las bombas de alimentación de agua a calderas y disparo de cadena de seguridad en calderas. Parada de la instalación
		3 Fallo en bomba de agua de alimentación y reserva	Evidencia: Se para la unidad. Parada de la instalación.
		4 Fallo en válvula motorizada (CV-MV-1031/2031)	Evidencia: Parada de la unidad. Se detiene el suministro de agua de alimentación y se para la instalación.
		5 Fallo en precalentador	Eficiencia reducida de la generación de vapor
		6 Fallo en economizador	Eficiencia reducida de la generación de vapor
	B No desgasificación	1 Falta de aditivo: secuestrante de O2	Evidencia: Falta de aditivo. Reducción de eficiencia
		2 Falta de aditivo: mejora pH	Evidencia: Falta de aditivo. Reducción de eficiencia y disminución de la vida útil de las calderas
		3 Fallo bomba de aditivación	Evidencia: Parada de la unidad. Reducción de eficiencia y disminución de vida útil de las calderas.
		4 Fallo válvula motorizada CV-MV-0168 (vapor)	Evidencia: Posición de seguridad cerrada. Parada del suministro de agua a las calderas y parada de la instalación.

Tabla 2: Fallo funcional (Circuito de Vapor):

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa de	EFEECTO
2 Producción de vapor saturado y vapor sobrecalentado	A No generar vapor	1 Falta de energía eléctrica	Evidencia: Parada de unidades motorizadas y señales de control. Parada de la instalación.
		2 Nivel de agua muy bajo en caldera 2	Evidencia: Disparo CV-LALL-1071
		3 Nivel de agua muy bajo en caldera 2	Evidencia: Disparo CV-LALL-2071 Se produce la parada de la bomba de agua de alimentación CV-P002B y CV-P002C, disparo de cadena de seguridad del quemador y parada de la instalación
		4 Nivel de agua bajo en caldera 2	Evidencia: Disparo CV-LAL-1070.
		5 Nivel de agua bajo en caldera 2	Evidencia: Disparo CV-LAL-2070. Puesta en marcha de bomba de agua de alimentación CV-P002B o CV-P002C (si CV-P002B en reserva)
		6 Nivel de agua alto en caldera 1	Evidencia: Disparo CV-LAH-1068. Parada de bomba de agua de alimentación CV-P002A o CV-P002C (si CV-P002A en reserva)
		7 Nivel de agua alto en caldera 2	Evidencia: Disparo CV-LAH-2068. Parada de bomba de agua de alimentación CV-P002B o CV-P002C (si CV-P002B en reserva)
		8 Fallo ventilador	Evidencia: Parada de la unidad. Parada de la instalación.
		9 Nivel alto de presión en caldera 1	Evidencia: CV-PSAH-1076. Disparo de cadena de seguridad del quemador 1 y parada de la instalación.
		10 Nivel alto de presión en caldera 2	Evidencia: CV-PSAH-2076. Disparo de cadena de seguridad del quemador 2 y parada de la instalación.
		11 Conductividad muy alta en caldera 1	Evidencia: CV-QSAH0175. Disparo de cadena de seguridades del quemador 1 y la parada de la instalación.
		12 Conductividad muy alta en caldera 2	Evidencia: CV-QSAH0176. Disparo de cadena de seguridades del quemador 2 y la parada de la instalación.
14 Temperatura muy elevada (salida recalentador 2)	Evidencia: Disparo CV-TAH-2113. Disparo de cadena de seguridades del quemador 2 y parada de la instalación.		
1 Fallo en válvula motorizada CV-TV-1107 (gases)	Evidencia: Parada de la unidad. No permite la regulación de la temperatura, parada del recalentador y de la generación de vapor sobrecalentado.		

Tabla 3: Fallo funcional (Circuito de Fuel):

FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa de	EFEECTO
3 Alimentación de fuel a los equipos de combustión y combustión eficiente	A No suministrar fuel a los quemadores	1 Falta de energía eléctrica	Evidencia: Parada de unidades motorizadas, señales de control y resistencias eléctricas de precalentadores. Parada de la instalación.
		2 Nivel bajo en tanque de fuel	Evidencia: Disparo CV-LAL0245. Parada de bombas de alimentación de fuel y de la instalación.
		3 Presión baja en el circuito de fuel	Evidencia: Disparo CV-LAL0219. Parada de bombas de fuel hasta t ????
		4 Fallo de soplante	Evidencia: Parada de la unidad. Disparo de cadena de seguridad de los quemadores y parada de la instalación.
		5 Fallo eléctrico en precalentador de fuel del depósito de fuel	Evidencias: Disminución de la temperatura y aumento de la viscosidad. Al disminuir la viscosidad, las bombas se disparan por sobrecarga y posible parada de la instalación.
		6 Fallo en precalentador de fuel del depósito de fuel (suministro de vapor)	Evidencias: Disminución de la temperatura y aumento de la viscosidad. Al disminuir la viscosidad, las bombas se disparan por sobrecarga y posible parada de la instalación.
		7 Fallo eléctrico en precalentador de fuel CVE-001	
		8 Fallo en precalentador de fuel CVE-001 (suministro de vapor)	
		9 Fallo en bombas de fuel	Evidencia: Parada de la unidad Parada de la instalación.
		10 Filtro obstruido parcialmente	Evidencia: Disminución de caudal, cavitación en la bomba y posible rotura

Tabla 4: Fallo funcional del Circuito Colector (verde) y del Circuito de Purgas (violeta):

FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO (Causa de)		EFEECTO	
4	Distribución del vapor generado	A	No distribuir el vapor generado	1	Falta de energía eléctrica	Evidencia: Parada de las válvulas motorizadas. Parada de la instalación.
				2	Fallo en válvula motorizada CV-HV-1126/2126	Evidencia: Válvula en posición de seguridad (cerrada). Parada de la instalación.
5	Realización de purgas	A	No realizar purgas	1	Falta de energía eléctrica	Evidencia: Parada de equipos motorizados y señales de control. Parada del sistema automático de purgas de las calderas y de enfriamiento de purgas.
				2	Fallo en SCM	Eficiencia reducida en la realización de purgas
				3	Fallo en purgadores: Calderas	Eficiencia reducida en la realización de purgas
				4	Fallo de purgadores: Recalentador	Eficiencia reducida en la realización de purgas
				5	Fallo de purgadores: Depósito de combustible	Eficiencia reducida en la realización de purgas
				6	Fallo de purgadores: Precalentador de fuel	Eficiencia reducida en la realización de purgas
				7	Fallo en BEM	Parada del sistema de purgas
				8	Fallo cooling water	Fallo en el enfriamiento de las purgas, parada del sistema de purgas
				9	Fallo válvula motorizada CV-CI-1089/2089	Parada del sistema de purgas de las calderas

### 2.3.2 Criticidades definidas para equipos e instrumentación

Para la definición de criticidades, se hace uso de la siguiente clasificación:

Tabla 5: Clasificación de Criticidades <sup>[10]</sup>

Criticidad	Categoría	Descripción
A	Equipos críticos	En esta categoría se encuentran aquellos equipos que no tienen reserva y cuyas averías afectan directamente a la producción o pueden tener consecuencias graves sobre la seguridad, calidad y el medio ambiente
B	Equipos muy importantes	En esta categoría se encuentran aquellos que son fundamentales para el proceso pero que funcionan muy sobrecargado o en condiciones muy severas, y que aun no siendo críticos porque disponen de reserva, a falta de esta podrían ocasionar la parada de una instalación o planta estratégica.
C	Equipos normales	Esta categoría está compuesta por aquellos equipos que funcionan en condiciones desahogadas o que pertenecen a instalaciones o plantas menos estratégicas y que disponen de reserva
D	Equipos poco importantes	Esta categoría está formada por los restantes equipos de proceso, no incluidos en las categorías anteriores y cuya disponibilidad no es importante, bien porque no tiene influencia en la producción, porque se utilizan muy ocasionalmente, poseen más de una reserva o su función puede ser desarrollada por otros equipos.

*El resultado de la aplicación de estas criticidades a los diferentes equipos queda reflejada con la tabla adjunta en el anexo 7.1*

## 2.4 Mitigación del riesgo

Por último, tras definir las criticidades de los diferentes equipos, es necesario considerar las medidas de mitigación del riesgo más adecuadas. Estas son, aquellas capaces de mantener y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos de una manera eficaz y óptima, como pueden ser acciones requeridas de mantenimiento preventivo o predictivo.

A modo de ejemplo, una de estas acciones realizadas para el mantenimiento predictivo que se ha escogido en la realización de este proyecto es la medición de vibraciones.

### 2.4.1 Medición de Vibraciones

El método de medición de vibraciones consiste en obtener toda la información relevante posible mediante el estudio de la vibración producida por la máquina. Este método se basa en que cualquier fallo o condición diferente al trabajo normal de esta, produce un sobreesfuerzo y por tanto una vibración medible.



Figura 15: Medidor de Vibraciones [11]

Para el estudio de esta vibración, se realiza un análisis espectral de la señal, descomponiendo la señal vibratoria en el dominio del tiempo y analizando las diferentes componentes espectrales a lo largo de las frecuencias. El correcto estudio de estos espectros permite la detección de fallos o condiciones adversas en estado latente y por tanto un pronóstico del posible fallo. Esto permite una anticipación al fallo y una mitigación de este sobre los elementos del equipo.

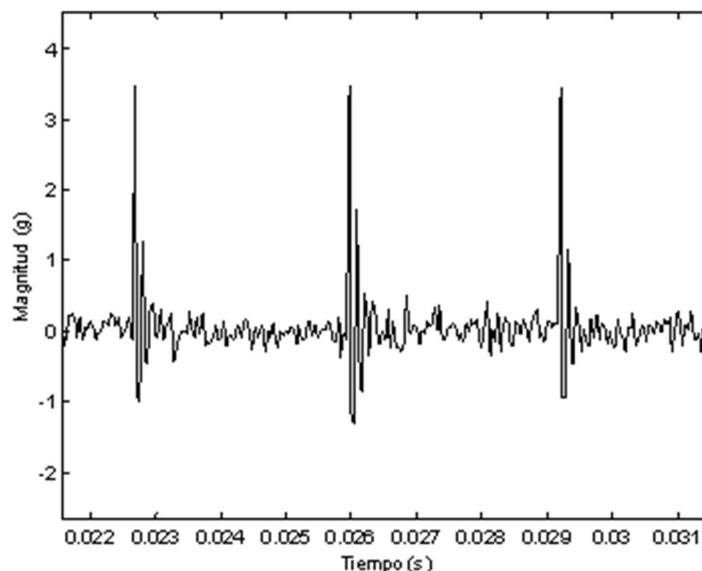


Figura 16: Simulación de la vibración producida por un cojinete de rodamientos con fallo

En este proyecto, se ha considerado la medición de vibraciones como método para el mantenimiento predictivo de equipos dinámicos.

### 3. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Una vez analizada la función, fallo funcional y criticidad de los diferentes equipos, es necesario establecer unos procedimientos específicos para el mantenimiento de equipos críticos o de mayor importancia.

Estos equipos son denominados críticos por el hecho de que su fallo o avería tiene un gran impacto en el proceso. Ejemplos de estos equipos en esta instalación pueden ser las calderas piro tubulares generadoras de vapor o el equipo de combustión, encargado de generar el calor necesario para el funcionamiento de la instalación.

Por otro lado, también es necesario establecer procedimientos específicos para los equipos que tengan un alto valor de reemplazamiento, un elevado coste de reparación o un gran impacto en la salud, la seguridad o el medio ambiente debido a las consecuencias de fallo. Ejemplo de estos pueden ser las válvulas de seguridad.

Por último, para todos los equipos que tengan similares requerimientos de mantenimiento y de impacto en el proceso, se establecerán procedimientos genéricos, como pueden ser instrumentos de medida no incluidos en el control o algunos equipos dinámicos.

#### 3.1 Mantenimiento para equipos del circuito de alimentación-precalentamiento de agua

##### 3.1.1 Depósito de agua de alimentación y desgasificador

El depósito de agua de alimentación junto con el desgasificador, es el equipo encargado de acondicionar el agua proveniente del proceso de osmosis para el uso en las calderas y por tanto la generación de vapor. Según la tabla 1 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta una gran cantidad de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

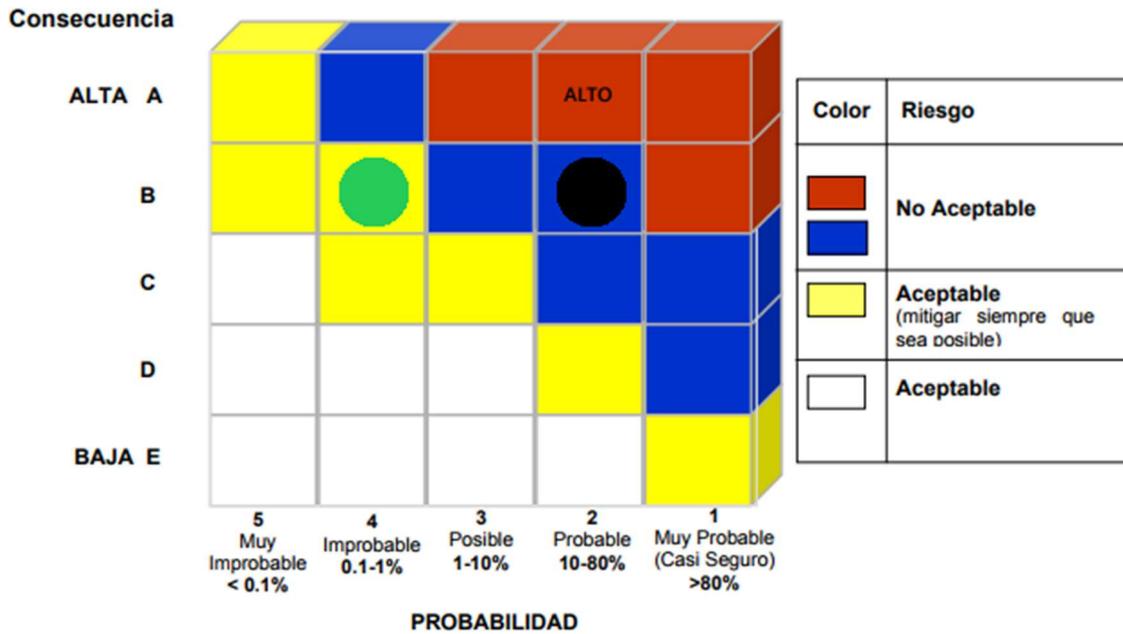
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 6: Propuesta para Mantenimiento del Depósito de agua y desgasificador.

Equipo: Depósito de agua de alimentación y desgasificador		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
	Supervisión analítica del agua de alimentación	
Preventivo	Comprobación del funcionamiento de accesorios (facilidad de paso y estanqueidad, disponibilidad de la energía auxiliar en caso necesario)	1 mes
	Comprobación del funcionamiento de transmisores de presión, nivel y medida (observar los puntos de conmutación, medición comparativa)	
	Limpieza y llenado con agua destilada de cierres hidráulicos (tubos sifón), instrumentos de regulación y aparatos de limitación.	
	Comprobación del funcionamiento de válvulas de seguridad	3 meses
	Comprobación de funcionamiento de cierres hidráulicos (llenado de la caldera completamente con agua destilada)	
	Revisión interna (examinar y limpieza en caso necesario)	5 años

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 17: Aplicación matriz de riesgo para Depósito de agua y desgasificador (B4 – B2).

Además, deben realizarse las siguientes instrucciones:

- Las juntas de las aberturas de revisión deben de cambiarse en caso de fugas y cada vez que se haya abierto la abertura de revisión.
- Los componentes de desgaste deben cambiarse cuando hayan transcurrido los intervalos especificados en las instrucciones de servicio correspondientes.

➤ Nota<sup>1</sup>:

**\*Limpieza en el lado del agua:**

*Las paredes deben estar libres de corrosión.*

*Si se detectan corrosiones, deberá comunicarse su alcance a las autoridades de supervisión o a los técnicos de servicio del fabricante. En caso necesario, deberán tomarse medidas para eliminar la corrosión o, al menos, para evitar que se extienda.*

<sup>1</sup> Información referente al manual del fabricante (BOSCH)

### 3.1.2 Precalentador de agua de alimentación

El precalentador de agua de alimentación, es el equipo encargado de aprovechar el vapor recalentado de la red de vapor para subir la temperatura desde los 103°C a los 130°C, de esta manera hace que la producción de vapor sea más óptima ya que el agua entra con una mayor temperatura en las calderas, reduciendo el calentamiento necesario de esta.

De esta forma, el fallo en el precalentador de agua no supondría una parada del funcionamiento, pero sí afectaría a la producción óptima del vapor de agua generado por las calderas. Atendiendo a la tabla 1, donde se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detectan algunos modos de fallo que llevan a una pérdida de eficiencia en el proceso de producción. Esto lleva a fijar criticidad C para este equipo.

De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel C2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

*Tabla 7: Propuesta para Mantenimiento del Precalentador de agua de alimentación:*

Equipo: Precalentador de agua de alimentación		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
Preventivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas en tuberías	1 mes
	Inspección externa ( inspección visual de fugas)	
	Comprobación de funcionamiento de válvulas (facilidad de paso y fugas, disponibilidad y energía auxiliar en caso de ser necesario)	
	Comprobación de funcionamiento de indicadores de presión (puntos de conmutación medición comparativa y paso libre en la tubería de conexión)	1 mes
	Limpieza de válvulas de filtro	
	Comprobación de funcionamiento de indicadores de temperatura (observar puntos de conmutación y medición comparativa)	
	Inspección externa	3 meses

Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Preventivo	Comprobación de funcionamiento de purgadores	3 meses
	Comprobación de funcionamiento de válvula de seguridad	
	Inspección interna	5 años
	Test de presión	10 años

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de C2 a C4, llevando el riesgo a una zona aceptable.

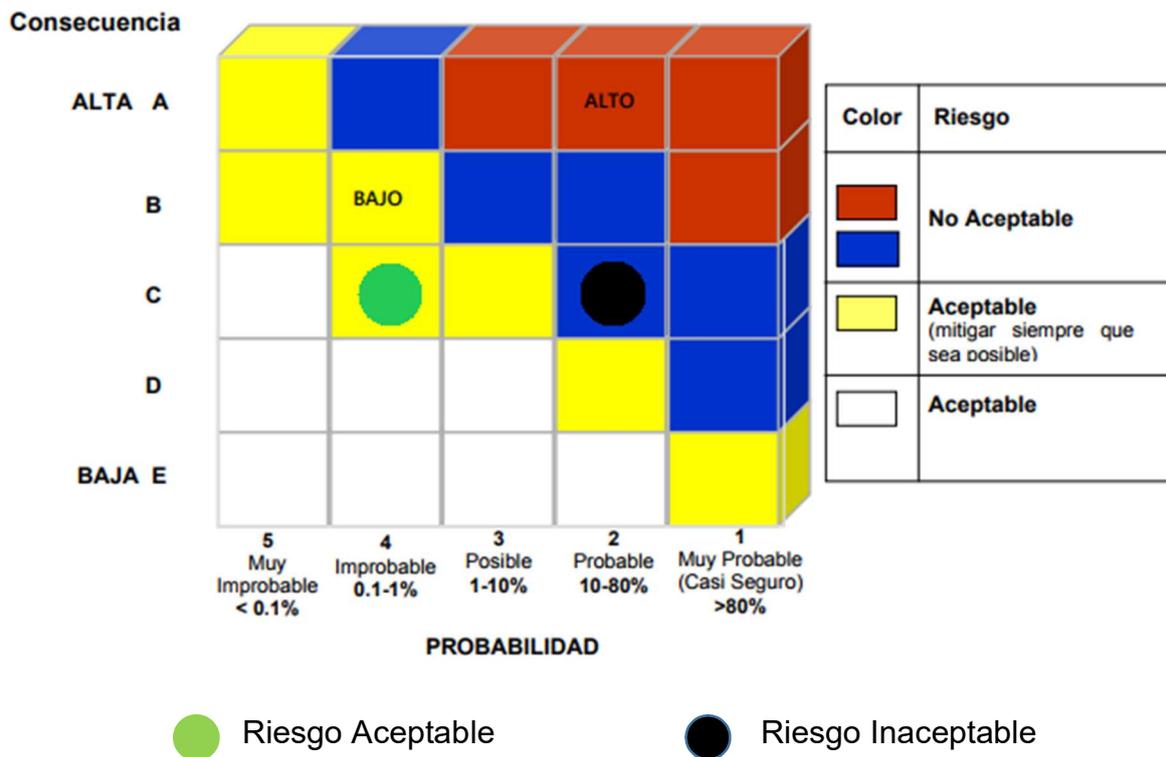


Figura 18: Aplicación matriz de riesgo para Precalentador de agua de alimentación (C4 – C2).

➤ Nota<sup>2</sup>:

**\*Inspección interna:**

*La inspección interna debe realizarse por un experto. Durante esta inspección, se debe comprobar el revestimiento interno del precalentador de agua, en busca de corrosión o posibles daños. Debido al trabajo en presión, todas las costuras de soldadura deben ser evaluadas y en base a las observaciones realizadas se deberá tomar las medidas preventivas necesarias.*

*Por otro lado, para la realización de esta inspección interna es necesario el cierre, despresurización, drenaje y enfriamiento del agua de alimentación. Se debe asegurar una temperatura menor a 40 °C antes de comenzar con la inspección.*

**\*Test de presión:**

*La realización de este test de presión debe ser realizada por un experto. El test consiste en realizar una prueba de presión con agua fría (entre 10 y 40 °C) apagando y dejando enfriar previamente el precalentador, posteriormente realizar una inspección interna y externa.*

*Esta prueba es necesaria realizarla en un periodo máximo de 10 años, siendo menor si el equipo ha estado fuera de servicio durante más de dos años.*

### 3.1.3 Economizador

Este intercambiador de calor cumple con dos funciones simultáneas, por un lado, el aumento de temperatura del agua a la salida del precalentador, aumentando su temperatura desde los 130°C hasta los 163°C y por tanto optimizando el rendimiento de la caldera. Y por otro lado, el intercambio de calor entre los gases residuales y el agua, ayudan al enfriamiento de estos gases para ser expulsados a la atmósfera.

La parada de este equipo no supondría una parada total de la instalación, pero sí una disminución en el rendimiento. Atendiendo a la tabla 1, donde se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detectan algunos modos de fallo que llevan a una pérdida de eficiencia en el proceso de producción. Esto lleva a fijar criticidad C para este equipo.

De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel C2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo

---

<sup>2</sup> Información referente al manual del fabricante (BOSCH)

en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Equipo: Economizador		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
Preventivo	Comprobación de funcionamiento, es decir accionamiento del interruptor final	1 mes
	Comprobación de funcionamiento de tapas de gases de escape, posición de las tapas y apretar varilla de acoplador si es necesario	
	Comprobación de funcionamiento del presostato de gases de escape	
	Limpieza y llenado con agua destilada de los cierres hidráulicos (tubos sifón), instrumentos de indicación y de regulación y los aparatos de limitación.	3 meses
	Revisión de la válvula de seguridad de presión*	
	Valoración del estado de tuberías de escape (estanqueidad, decoloración del aislamiento, etc.)	
	Limpieza en el lado de combustión y en la zona de gases*	
	6 meses	

Tabla 8: Propuesta para Mantenimiento del Economizador

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de C2 a C4, llevando el riesgo a una zona aceptable.

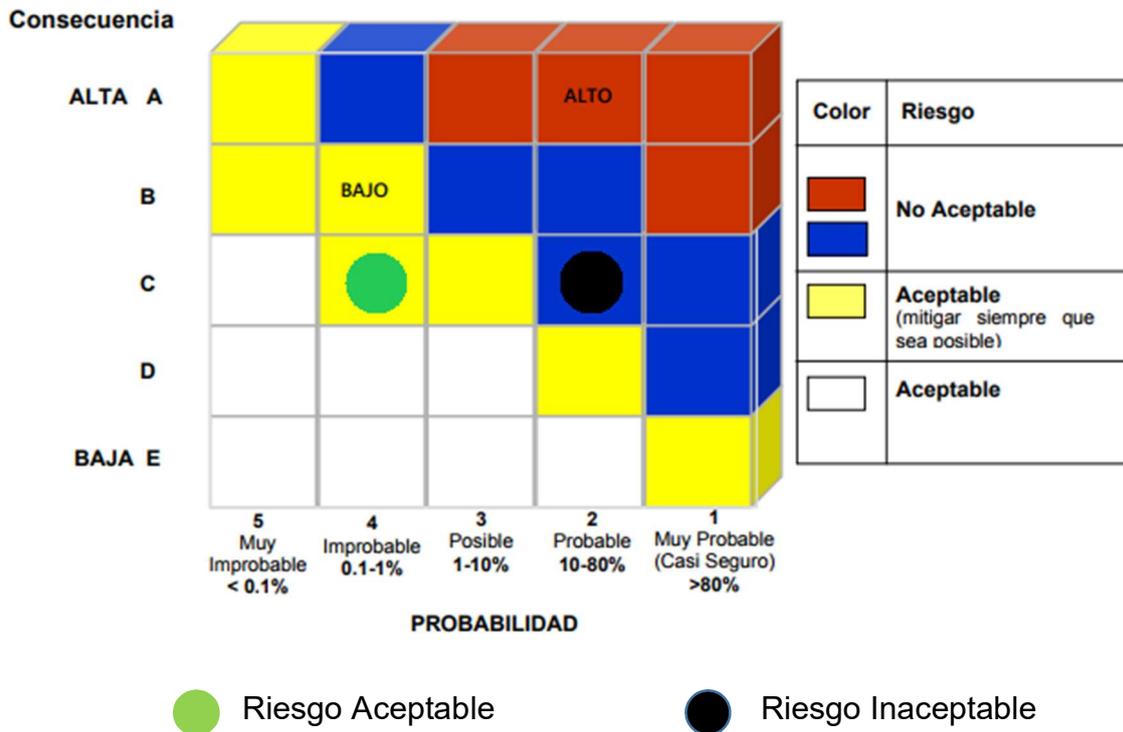


Figura 19: Aplicación matriz de riesgo para Economizador (C4 – C2).

➤ Nota<sup>3</sup>:

**\*Revisión de la válvula de seguridad de presión**

Para realizar la revisión de la válvula de seguridad, se cierran las válvulas de interrupción en la entrada y en la salida del economizador. El agua encerrada debe calentarse con la carga mínima del quemador. Por la expansión del agua se abre la válvula de seguridad de presión. Controlando la presión de apertura en el indicador de presión, no debe ser más alta que el 1,1 de la presión de diseño del economizador.

Cuando la presión alcance este límite, el calentamiento se deberá interrumpir inmediatamente. Tras la revisión de la válvula de seguridad de presión, es necesario provocar una reducción de la presión para provocar el cierre seguro de la misma válvula.

**\*Limpieza en el lado de combustión y en la zona de gases**

Para la limpieza de las superficies de calefacción en el lado de gas se requiere intervalos regulares, dependiendo del combustible, del modo de servicio y del tiempo de funcionamiento diario.

<sup>3</sup> Información referente al manual del fabricante (BOSCH)

*Los tubos de calefacción deberían limpiarse cuando la capa de hollín haya alcanzado un grosor de aproximadamente 0.5 mmts.*

*Los economizadores deben limpiarse por medio de aberturas de inspección en la entrada de los gases y en la salida de los gases. La limpieza puede efectuarse con aire comprimido, con extracción simultánea por una aspiradora. Para evitar la contaminación del medio ambiente, la limpieza de la chimenea por soplado está prohibida.*

*Para determinar si es necesario la limpieza de las superficies de calefacción en el lado del gas, podemos observar si se ha producido un aumento de 10 K en la temperatura de los gases de escape o un aumento de 0,5 mbar en la resistencia en el lado caliente por encima del valor medio durante la puesta en servicio.*

#### **\*Limpieza en el lado del agua**

*Normalmente no se precisará la limpieza del economizador en el lado del agua. Sin embargo, si se detecta un aumento de presión en el lado de a presión de las bombas de alimentación hacia la caldera, tal caída de presión adicional puede estar ocasionada por sedimentos en los serpentines del economizador.*

*Por otro lado, el aumento de la temperatura de los gases residuales en caso de superficies de calefacción limpias en la zona de gases es un indicio de que en el lado del agua se han formado sedimentos.*

*Si el economizador presenta sedimentos o huellas de corrosión, será recomendable consultar el caso con el proveedor del sistema de tratamiento de aguas o de los agentes químicos dosificadores, con el fin de determinar las medidas a tomar.*

### **3.1.4 Bombas de agua de alimentación**

El módulo de bombas de agua de alimentación está formado por tres electrobombas, una por caldera y una común a modo de reserva. Estas bombas son las encargadas de suministrar el agua desgasificada desde el depósito de agua hacia los precalentadores. Según la tabla 1 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta una gran cantidad de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

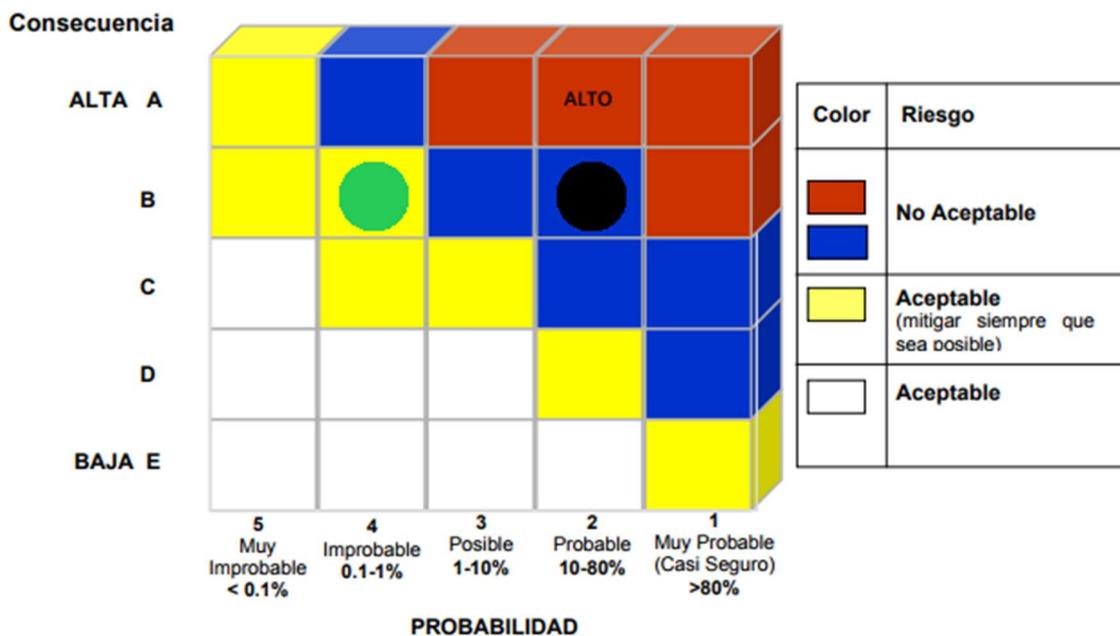
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Equipo: Bombas de agua de alimentación		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Detección de fugas	3 días
	Observación de ruidos extraños	
Preventivo	Gamas de engrase	6 meses
Predictivo	Medición de vibraciones	3 meses

Tabla 9: Propuesta para Mantenimiento de Bombas de agua de alimentación

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 20: Aplicación matriz de riesgo para Bombas de agua de alimentación (B2 – B4).

### 3.1.5 Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación

El sistema de aditivación y análisis de agua es el encargado de realizar una medida en continuo, dosificación de aditivación al agua y la transmisión de estos valores a la unidad de control. Según la tabla 1 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detectan algunos modos de fallo que llevan a una pérdida de eficiencia en el proceso de producción. Esto lleva a fijar criticidad C para este equipo.

De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel C2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Equipo: Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Preventivo	Toma de muestras (pH)	1 día
	Toma de muestras (Conductividad)	1 día
	Limpieza de electrodo (transductor pH)	1 mes
	Limpieza de electrodo (transductor secuestrante de O2)	1 mes

Tabla 10: Propuesta para Mantenimiento del Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de C2 a C4, llevando el riesgo a una zona aceptable.

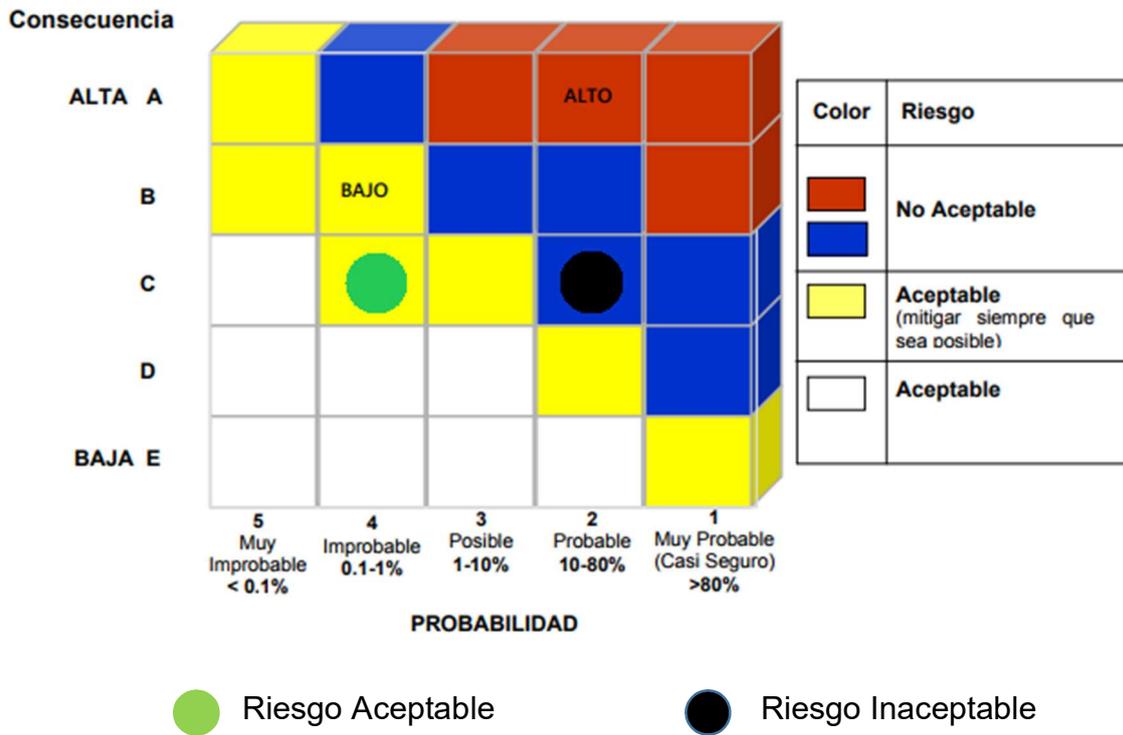


Figura 21: Aplicación matriz de riesgo para Sistema de aditivación y análisis de agua de alimentación (C2 – C4).

## 3.2 Mantenimiento para equipos del circuito de fuel

### 3.2.1 Depósito de combustible

El depósito de combustible tiene una capacidad de 4.270 litros, por lo que es necesario la realización de una revisión periódica cada 5 años y cada 10 años, como se indica en el apartado 38.1.2 de la ITC MI-IP03.

Por otro lado, es necesaria la limpieza de filtros para garantizar el buen funcionamiento de este una vez a la semana.

Tabla 11: Propuesta para Mantenimiento del depósito de combustible:

Equipo: Depósito de combustible		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Preventivo	Limpieza de filtros	7 días
	Inspección periódica	5 años
	Inspección periódica	10 años

### 3.2.2 Módulo de alimentación FO

El módulo de alimentación de Fuel-Oil es el responsable del bombeo desde el depósito hasta los quemadores de las calderas. Según la tabla 3 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta una gran cantidad de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

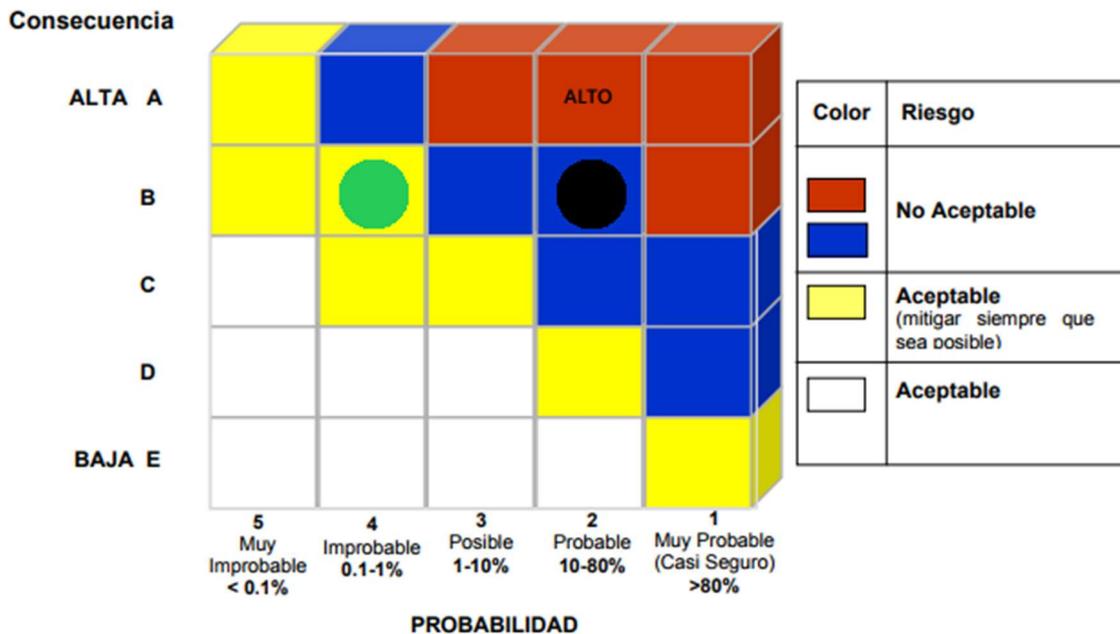
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 12: Mantenimiento del módulo de alimentación de fuel:

Equipo: Módulo de alimentación de fuel		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Detección de fugas	3 días
	Observación de ruidos extraños	
Preventivo	Limpieza de filtros	7 días
	Gamas de engrase	6 meses
Predictivo	Medición de vibraciones	3 meses

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable                      ● Riesgo Inaceptable

Figura 22: Aplicación matriz de riesgo para Módulo de alimentación de fuel (B2 – B4).

### 3.2.3 Precalentador de combustible

El precalentador de combustible es el encargado de mantener una temperatura óptima para la combustión en los quemadores de las calderas, esto se consigue aumentando la temperatura procedente del depósito de almacenamiento, 49 °C a 94°C. La parada de este equipo supondría una pérdida de eficacia en la combustión de los quemadores, pudiendo llegar a la parada total de la caldera.

Teniendo en cuenta la tabla 3 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta algunos de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

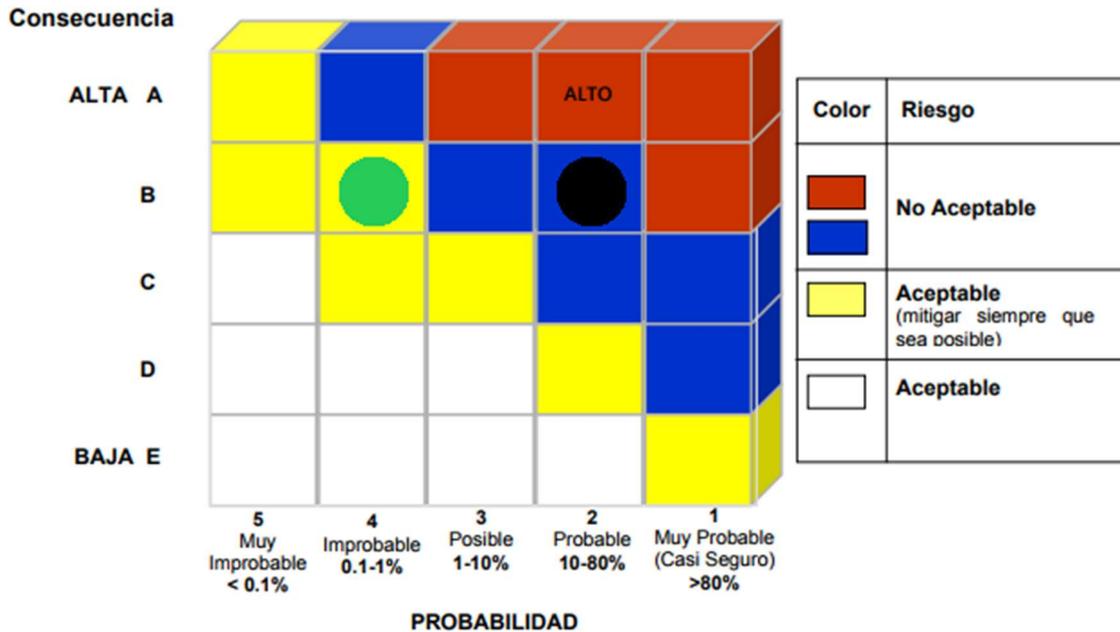
Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo

en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 13: Propuesta para Mantenimiento del precalentador de combustible:

Equipo: Precalentador de combustible		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
Preventivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas en tuberías	1 mes
	Comprobación de funcionamiento de válvulas (facilidad de paso, fugas, disponibilidad y energía auxiliar en caso necesario)	
	Comprobación de funcionamiento de indicadores de presión (puntos de conmutación, medición comparativa, paso libre en la tubería de conexión)	
	Limpieza de filtros	
	Comprobación de funcionamiento de indicadores de temperatura (observar los puntos de conmutación, medición comparativa)	
	Comprobación de funcionamiento de limitadores de temperatura (punto de disparo, paso libre en la tubería de conexión)	
	Comprobación de funcionamiento de resistencia eléctrica	
	Inspección externa (fugas)	
	Comprobación de funcionamiento de purgador	
	Comprobación de funcionamiento de válvula de seguridad	
	Comprobación de funcionamiento de regulador de presión (medición comparativa)	
	Inspección interna	5 años
	Test de presión	10 años

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 23: Aplicación matriz de riesgo para Precalentador de combustible (B2 – B4).

➤ Nota<sup>4</sup>:

**\*Inspección interna**

La inspección interna debe realizarse por un experto. En esta inspección la superficie interior del módulo de precalentamiento de fuel será examinada en busca de posibles depósitos, corrosión o posibles daños. Las costuras de soldadura y la superficie interior deberán ser evaluadas en función a la presión a la que opera.

Para la realización de esta inspección el precalentador debe estar apagado, sin presión, drenado y enfriado.

<sup>4</sup> Información referente al manual del fabricante (BOSCH)

### 3.2.4 Equipo de combustión

El equipo de combustión de la caldera supone uno de los principales equipos de la instalación ya que de este depende la generación de calor. Según la tabla 3 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta una gran cantidad de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

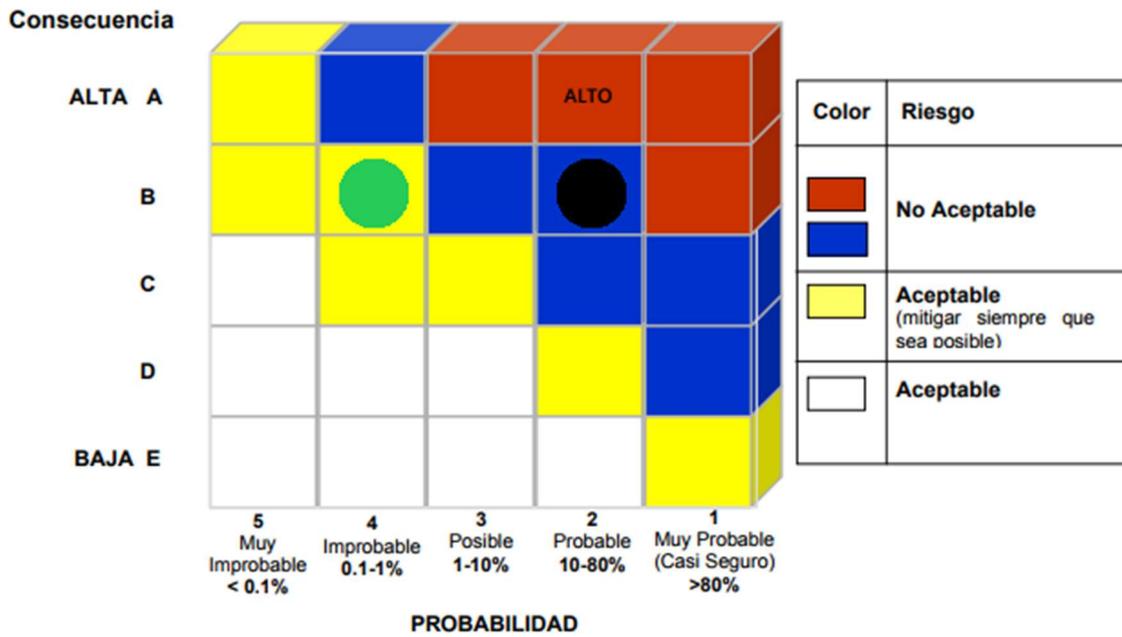
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 14: Propuesta para Mantenimiento del equipo de combustión:

Equipo: Equipo de combustión		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
Preventivo	Comprobación de funcionamiento de actuadores para aire y sustancias inflamables (viabilidad, puntos de conexión)	3 meses
	Comprobación de funcionamiento de dispositivos de cierre de sustancias inflamables (viabilidad y estanqueidad, disponibilidad de energía auxiliar en caso necesario)	
	Comprobación de funcionamiento de indicadores de presión de sustancia inflamable (control punto cero o medición comparativa, libre acceso de la línea de conexión)	
	Comprobación de funcionamiento de dispositivo de cierre de seguridad de sustancia inflamable delante del quemador (viabilidad, estanqueidad)	
	Comprobación de funcionamiento de dispositivo de control de estanqueidad de válvulas de gas	
	Comprobación de funcionamiento del control de llama	
	Valoración de la combustión (medición de gases de escape)	6 meses
Comprobación de funcionamiento de indicación de presión de aire y presostato de aire	1 año	

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 24: Aplicación matriz de riesgo para Equipo de combustión (B2 – B4).

### 3.3 Mantenimiento para equipos del circuito de vapor

#### 3.3.1 Calderas piro tubulares

Las calderas piro tubulares constituyen los principales equipos de la instalación y por tanto son considerados equipos críticos. Según la tabla 2 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detecta una gran cantidad de modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

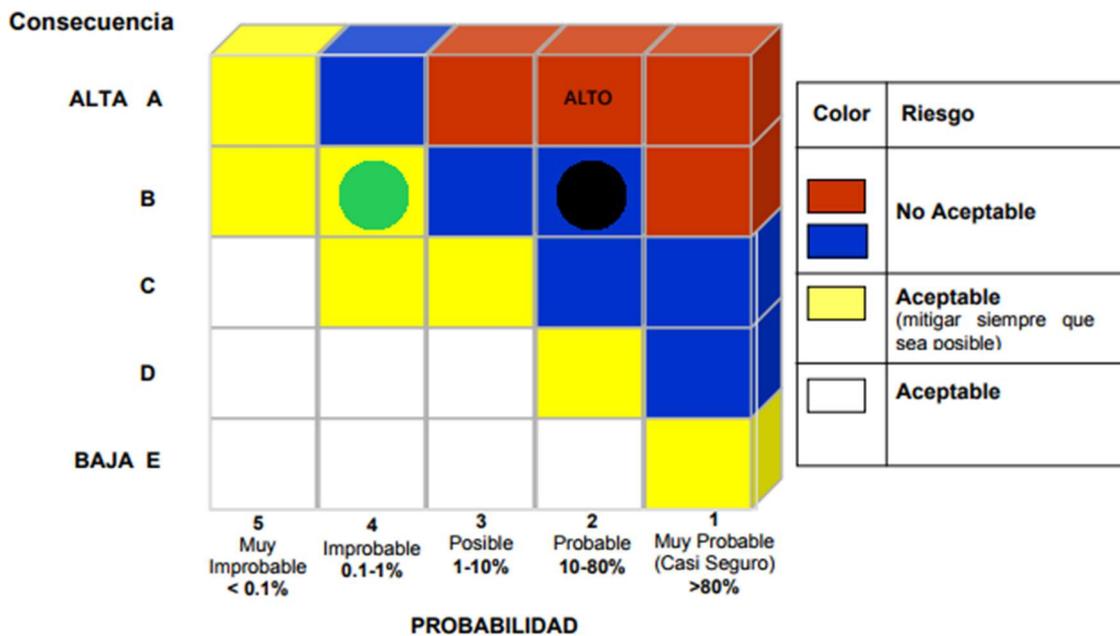
Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 15: Propuesta para Mantenimiento de Calderas:

Equipo: Calderas		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
	Lavado del módulo de medición e indicación de nivel de agua	3 días
Preventivo	Limpieza del indicador de nivel por soplado	1 mes
	Comprobación del funcionamiento del limitador de nivel	
	Comprobación del funcionamiento del limitador de presión o limitador de temperatura	3 meses
	Comprobación del estado de aberturas para inspección	
	Comprobación del funcionamiento del interruptor de emergencia	
	Comprobación del funcionamiento de la válvula de seguridad	6 meses
	Desmontaje con limpieza del módulo de medición e indicación de nivel de agua, en función del equipamiento / calidad del agua de la caldera	
	Inspección del estado, viabilidad y disponibilidad de energía auxiliar en caso necesario de válvulas	
	Comprobación del funcionamiento del controlador de nivel	

Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Preventivo	Comprobación del funcionamiento del indicador de presión o indicador de temperatura	6 meses
	Comprobación de funcionamiento del regulador de presión o termostato	
	Cambio de batería de equipo de automatización	1 año

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 25: Aplicación matriz de riesgo para Calderas piro tubulares (B2 – B4).

### 3.3.2 Recalentador

El recalentador es el responsable de la generación de vapor sobrecalentado a partir del vapor generado por las calderas. Esto se consigue aprovechando los gases de escape para recalentar el vapor a la salida de estas. Según la tabla 2 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detectan algunos modos de fallo que llevan a la parada total de la instalación. Esto lleva a fijar criticidad B para este equipo.

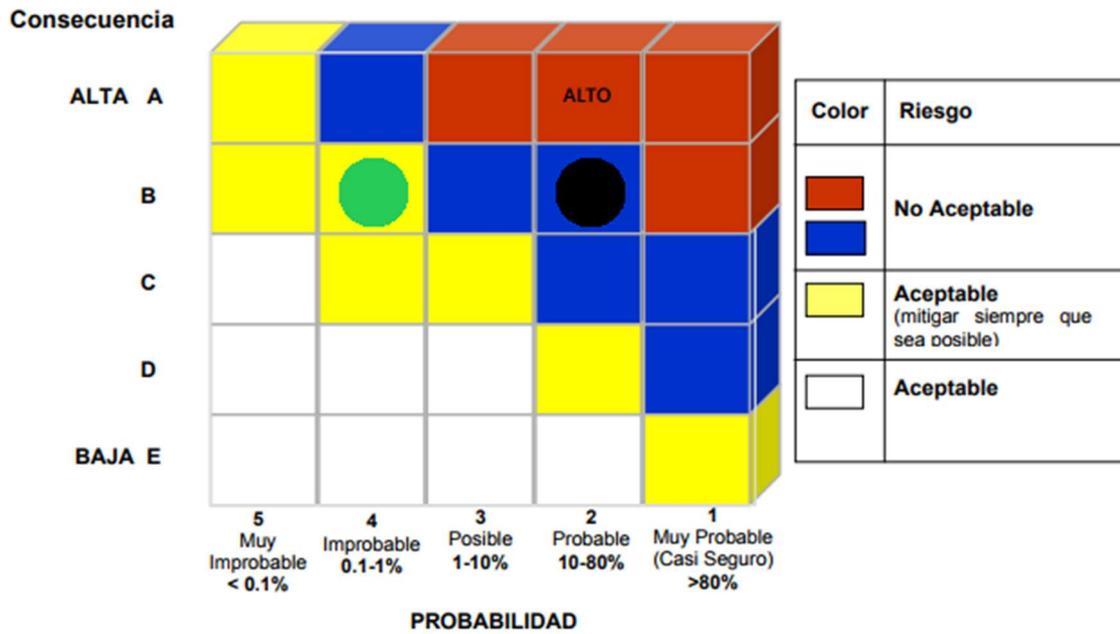
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel B2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

Tabla 16: Propuesta para Mantenimiento del Recalentador:

Equipo: Recalentador		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
	Inspección externa	
Preventivo	Revisión de la válvula de seguridad de presión	3 meses
	Comprobación del funcionamiento del limitador de temperatura	
	Limpieza externa de conductos	6 meses

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de B2 a B4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 26: Aplicación matriz de riesgo para Recalentador (B2 – B4).

### 3.4 Mantenimiento para equipos del circuito de purgas

#### 3.4.1 Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM

Este dispositivo es el encargado de la realización de purgas de las calderas y de los diferentes equipos que componen la instalación. El fallo funcional de este equipo no supondría una parada total de la instalación por lo que siguiendo la información del fabricante se ha asignado el siguiente mantenimiento.

Según la tabla 2 en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo se detectan algunos modos de fallo que llevan a una pérdida de eficiencia en el proceso de producción. Esto lleva a fijar criticidad C para este equipo.

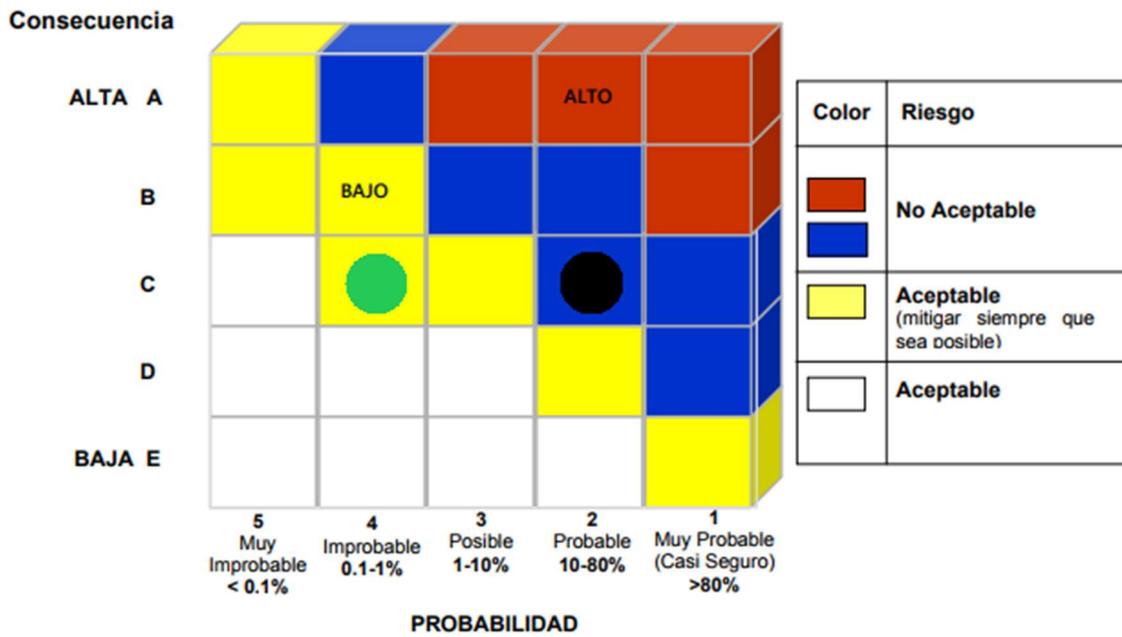
De no plantear ninguna estrategia de mantenimiento predictivo o preventivo para este equipo durante un año, se considera que la probabilidad de fallo en este es Probable (10% – 80%).

Entrando en la matriz de riesgo según la criticidad y la probabilidad fijadas, resultaría un nivel C2, un riesgo inaceptable. Por tanto es necesario mitigar este riesgo en base al desarrollo de una estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo que se desarrolla a continuación.

*Tabla 17: Propuesta para Mantenimiento del Dispositivo de purga de lodos, expansión y de enfriamiento BEM:*

Equipo: Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM		
Tipo de mantenimiento	Inspección	Frecuencia
Detectivo	Observación de ruidos anómalos, olores y otras circunstancias anómalas	3 días
Preventivo	Comprobación de temperatura superficial en el tubo de descarga del cierre hidráulico	7 días
	Comprobar y reapretar en caso necesario aberturas de inspección	7 días
	Comprobación de facilidad de paso en conductos	7 días
	Medición comparativa de transmisor de medición de temperatura	1 mes
	Comprobación de puntos de conmutación del termostato	3 meses
	Comprobación de funcionamiento de válvulas (facilidad de paso, fugas, disponibilidad y energía auxiliar en caso necesario)	6 meses
	Revisión Interna	6 meses

Según el plan de mantenimiento proyectado, el riesgo para este equipo bajaría de C2 a C4, llevando el riesgo a una zona aceptable.



● Riesgo Aceptable

● Riesgo Inaceptable

Figura 27: Aplicación matriz de riesgo para Dispositivo de purga de lodos, expansión y de enfriamiento BEM (C4 – C2).

## 4. PRESUPUESTO

En este apartado, se plantea una estimación del presupuesto necesario para la realización del mantenimiento definido en capítulos anteriores durante el primer año de funcionamiento de la instalación.

Puesto que se trata de una instalación nueva y no se dispone de un amplio histórico de averías, los gastos considerados para la estimación del presupuesto son los propios del mantenimiento preventivo. De esta manera, se identifica cada una de las actividades necesarias para realizar el mantenimiento de los diferentes equipos y se asigna un número aproximado de horas tomando como referencia trabajos similares realizados en otras producciones.

Los cálculos se realizan en base a una única inspección para cada uno de los diferentes trabajos, por lo que se ha de tener en cuenta la frecuencia con los que se realizan estos, indicada en las gamas de mantenimiento expuestas en el capítulo anterior. De este modo, obtenemos una estimación del presupuesto para el primer año de funcionamiento.

### 4.1 Presupuesto estimado para el Mantenimiento Preventivo (por inspección)

Para la estimación de este presupuesto, se ha determinado el número de horas aproximadas que conllevará cada una de las acciones del plan de mantenimiento propuesto y un precio medio estimado por hora, en este caso 30€.

Por otro lado, es necesario mencionar, que el gasto en material y recursos necesarios para la realización de los trabajos se considera incluido en este precio. Del mismo modo, no han sido consideradas en esta estimación las inspecciones reglamentarias, como las propias de los equipos a presión, ya que son realizadas a los 5 o 10 años tras la instalación.

El resultado de la estimación del presupuesto durante el primer año de funcionamiento de la instalación queda representado en las siguientes tablas.

*Tabla 18: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Agua de alimentación:*

Circuito de alimentación-precalentamiento de agua				
Equipo	Inspección	Horas (por inspección)	Frecuencia (meses)	Total horas (por año)
Depósito de agua de alimentación y desgasificador	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	2	2	12
	Limpieza y llenado con agua destilada de cierres hidráulicos	2	1	24
	Revisión interna	0	0	0
Precalentador de agua de alimentación (x2)	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	2	2	24
	Limpieza de válvulas de filtro	2	1	48
	Inspección interna	0	0	0
Economizador (x2)	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	2	1	48
	Limpieza de cierres hidráulicos, instrumentos de regulación y aparatos de limitación	3	1	48
Bombas de agua de alimentación (x3)	Gamas de engrase	4	6	24
	Medición de vibraciones	3	3	36

<b>TOTAL DE HORAS</b>	<b>264</b>
<b>PRECIO POR HORA [€]</b>	<b>30</b>
<b>TOTAL [€]</b>	<b>7920</b>

Tabla 19: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Vapor:

Circuito de Vapor				
Equipo	Inspección	Horas (por inspección)	Frecuencia (meses)	Total horas (por año)
Calderas (x2)	Comprobación de funcionamiento de instrumentación (interruptor de emergencia, aberturas para inspección)	4	3	32
	Comprobación de funcionamiento de instrumentación (indicadores y controladores de temperatura y presión)	6	6	24
Recalentador (x2)	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	4	3	32
	Limpieza externa de conductos	3	6	12

<b>TOTAL DE HORAS</b>	<b>100</b>
<b>PRECIO POR HORA [€]</b>	<b>30</b>
<b>TOTAL [€]</b>	<b>3000</b>

Tabla 20: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Fuel:

Circuito de Fuel				
Equipo	Inspección	Horas (por inspección)	Frecuencia (meses)	Total horas (por año)
Precalentador de combustible	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	2	2	12
	Limpieza de filtros	2	1	24
	Inspección interna	0	0	0
Módulo de alimentación de fuel	Gamas de engrase	4	6	8
	Limpieza de filtros	2	0,25	96
Equipo de combustión (x2)	Comprobación de funcionamiento de instrumentación	4	3	32
Depósito de combustible	Inspecciones periódicas	0	0	0
	Limpieza de filtros	3	0,25	96

<b>TOTAL DE HORAS</b>	<b>268</b>
<b>PRECIO POR HORA [€]</b>	<b>30</b>
<b>TOTAL [€]</b>	<b>8040</b>

Tabla 21: Presupuesto anual para Mantenimiento Preventivo C. de Purgas:

Circuito de purgas				
Equipo	Inspección	Horas (por inspección)	Frecuencia (meses)	Total horas (por año)
Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM	Comprobación de funcionamiento de instrumentación y revisión interna	5	6	10

<b>TOTAL DE HORAS</b>	<b>10</b>
<b>PRECIO POR HORA [€]</b>	<b>30</b>
<b>TOTAL [€]</b>	<b>300</b>

<b>PRECIO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO [€] (Por inspección)</b>	<b>19260</b>
---	--------------

## 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

A modo de resumen, el objetivo de este proyecto ha sido el diseño de un plan de mantenimiento capaz de garantizar el correcto funcionamiento de la nueva central de generación de vapor. Esta instalación está formada por dos calderas y está ubicada en la Refinería de Santa Cruz de Tenerife, perteneciente al grupo CEPSA.

Por otro lado, se ha realizado un trabajo que ha servido para poner en práctica conocimientos y aptitudes adquiridos en la carrera y además se ha realizado un trabajo de interés para la empresa.

Para el desarrollo de este proyecto, con el objetivo de plantear una buena estrategia de mantenimiento, se han establecido varios puntos a seguir, estos son:

- Definición de la metodología, en este caso el mantenimiento basado en el riesgo (RBM).
- Análisis de la instalación y recopilación de información.
- Evaluación del riesgo y clasificación de los equipos.
- Mitigación del riesgo.

Siguiendo estos pasos, tras definir teóricamente la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto, en este caso el mantenimiento basado en el riesgo, se ha hecho una recopilación de la información necesaria de la instalación.

Para la recopilación de la información, se ha utilizado la plataforma SAP, donde se encontraba gran parte de la información de los equipos y manuales aportados por el fabricante. Además, se han realizado varias visitas a la instalación para estudiar la configuración de los diferentes equipos.

Una vez obtenida la información, para la evaluación del riesgo y clasificación según este, se ha determinado las funciones y consecuencias de fallo de cada uno de los equipos y seguidamente se les ha asignado una criticidad en base a esto.

Por último, para la mitigación del riesgo, se ha propuesto un plan de mantenimiento que permita reducir la probabilidad de fallo realizando tareas de mantenimiento detectivo y predictivo,

Además, este plan de mantenimiento pretende maximizar la disponibilidad de las unidades al menor costo posible, por lo que se ha estimado un presupuesto para el mantenimiento durante el primer año de funcionamiento de la instalación.

-----

As a summary, the objective of this project has been the design of a maintenance plan capable of guaranteeing the correct operation of the new steam generation plant. This installation is formed by two boilers and is located in the Santa Cruz de Tenerife Refinery and belongs to the company CEPSA.

In the same way, this work has served to use some of the knowledge and skills acquired in the degree and in addition is a work of interest for the company.

For the development of the project, in order to plan a good maintenance strategy, the following points have been established:

- Definition of methodology, in this case risk-based maintenance (RBM).
- Analysis of the installation and search of information.
- Risk evaluation and equipment classification.
- Risk Mitigation.

Following these steps, after theoretically defining the methodology proposed for the development of the project, in this case risk-based maintenance, the necessary installation information has been collected.

For the information search, the SAP platform was used, where much of the information of the equipment and manuals provided by the manufacturer was found. In addition, several visits have been made to the installation to study the configuration of the different equipment.

Once the information has been obtained, for the risk evaluation and classification according to this, the functions and consequences of failure of each equipment have been determined and then assigned a criticality based on this.

Finally, for risk mitigation, a maintenance plan has been proposed to reduce the probability of failure by performing detective and predictive maintenance tasks.

Also this maintenance plan aims to maximize the availability of the units at the lowest possible cost, so a budget has been estimated for maintenance during the first year of operation of the installation.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **SAP:** [www.sap.com/spain/products/enterprise-management-erp.html](http://www.sap.com/spain/products/enterprise-management-erp.html)
- [2] **ERP:**  
[es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_planificaci%C3%B3n\\_de\\_recursos\\_empresales](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_planificaci%C3%B3n_de_recursos_empresales)
- [3] **RBM (Risk Based Maintenance):** *MO-0107-TOTAL- Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM).*
- [4] **CEPSA:** [www.cepsa.com](http://www.cepsa.com), página oficial de la compañía CEPSA (Compañía Española de Petróleos)
- [5] **Mantenimiento preventivo:** *PR-121 - Procedimiento general de planificación y control del mantenimiento preventivo y predictivo.*
- [6] **Mantenimiento predictivo:** *PR-121 - Procedimiento general de planificación y control del mantenimiento preventivo y predictivo.*
- [7] **Mantenimiento correctivo:** *NO-039 - Norma básica sobre mantenimiento en el Grupo CEPSA.*
- [8] **BOSCH:** [www.bosch-home.es](http://www.bosch-home.es), página oficial de la compañía BOSCH
- [9] **Tabla 5: Clasificación de Criticidades:** *NO-039 - Norma básica sobre mantenimiento en el Grupo CEPSA.*
- [10] **Figura 15: Medidor de Vibraciones:**  
<http://www.cedesa.com.mx/fluke/analizadores/vibraciones/810/>

## 7. ANEXOS

### 7.1 CRITICIDADES DEFINIDAS PARA EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
Circuito de agua de alimentación			
Depósito de agua de alimentación y desgasificador			B
	Controlador de presión		
		CV-PIC-0018	B
	Controlador de nivel		
		CV-LIC-0017	B
	Válvula de seguridad		
		CV-PSV-0015	A
		CV-PSV-0019	A
		CV-PSV-0023	A
	Válvula motorizada		
		CV-MV-0168	B
	Válvula magnética roscada		
		CV-LV-0005	C
Filtro en Y			
	CV-F-0167	C	
Precalentador			C
	Termómetro		
		CV-TI-1033	C
		CV-TI-2033	C
		CV-TI-1045	C
		CV-TI-2045	C
	Controlador de temperatura		
		CV-TIC-1044	C
		CV-TIC-2044	C
	Manómetro		
		CV-PI-1035	C
	CV-PI-2035	C	
Válvula de seguridad			

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
		CV-PSV-1034	A
		CV-PSV-2034	A
	Filtro en Y		
		CV-F-1042	C
		CV-F-2042	C
Economizador			C
	Termómetro		
		CV-TI-1064	C
		CV-TI-2064	C
	Manómetro		
		CV-PI-1059	C
		CV-PI-2059	C
	Válvula de seguridad		
		CV-PSV-1057	A
	CV-PSV-2057	A	
Bombas de agua de alimentación			B
	Bomba P-002 A		
		P-002 A	B
		Motor Bomba P-002 A	B
		Auxiliares eléctricos	B
		Auxiliares y tuberías	B
	Bomba P-002 B		
		P-002 B	B
		Motor Bomba P-002 B	B
		Auxiliares eléctricos	B
		Auxiliares y tuberías	B
	Bomba P-002 C		
		P-002 C	B
		Motor Bomba P-002 C	B
		Auxiliares eléctricos	B
		Auxiliares y tuberías	B
	Manómetro		
		CV-PI-0027	C
		CV-PI-1027	C
	CV-PI-2027	C	

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad	
	Válvula motorizada	CV-MV-1031	C	
		CV-MV-2031	C	
	Filtro en Y	CV-F-0025	C	
		CV-F-1025	C	
		CV-F-2025	C	
	Aditivación y analisis de agua			C
	Transductor (pH)	CV-QIC-0175	C	
	Transductor (secuestrante de O2)	CV-QIC-0177	C	
	Transductor (dureza)	CV-QIC-0180	C	
Manómetro	CV-PI-0009	C		
	CV-PI-0010	C		
Bombas				
Circuito de fuel				
Depósito de combustible			C	
Controlador de temperatura	CV-TIC-0233	C		
Transmisor de nivel	CV-LT-0247	B		
Controlador de nivel	CV-LIC-0244	C		
Transmisor de temperatura	CV-TT-0236	C		
Termostato	CV-TIC-0308	C		
Válvula termostática	CV-TV-0251	C		
Válvula de seguridad	CV-PSV-0232	A		
Filtro en Y	CV-F-020	C		

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	
Módulo de alimentación de fuel		B	
	Manómetro		
		CV-PI-0261	C
		CV-PI-0269	C
		CV-PI-0270	C
		CV-PI-0266	C
	Termómetro		
		CV-TI-0264	C
	Filtro doble conmutable		
		CV-HCV-0257 CV-F-0258 CV-F-0259 CV-HCV-0260	B
Precalentador combustible		B	
	Manómetro		
		CV-PI-0312	C
		CV-PI-0302	C
	Termómetro		
		CV-TI-0207	C
		CV-TI-0304	C
	Transmisor de temperatura		
		CV-PT-0303	C
	Controlador de temperatura		
		CV-TIC-0305	C
		CV-TIC-0306	C
	Termostato de abrazadera		
		CV-TIC-0310	C
	Válvula de seguridad		
		CV-PSV-0205	A
	Válvula motorizada		
	CV-MV-0204	C	
Filtro en Y			
	CV-F-0203	C	
Equipo de combustión		B	
	Termostato		
		CV-TSL-1278	C
		CV-TSL-2278	C
	CV-TSH-1279	C	

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
		CV-TSH-2279	C
	Manómetro		
		CV-PI-1280	C
		CV-PI-2280	C
	Indicador de volumen de aceite		
		C-FV-1283	C
		C-FV-2283	C
	Reductora de fuel		
		CV-RO-1281	C
		CV-RO-2281	C
	Transmisor de caudal		
		CV-FT-1284	C
		CV-FT-2284	C
	Válvula reguladora de presión		
		CV-PCV-1273	C
		CV-PCV-2273	C
		CV-PCV-1296	C
		CV-PCV-2296	C
	Válvula de corte de seguridad (Fuel)		
		CV-EV-1287	A
		CV-EV-2287	A
	Válvula de marlposa motorizada (Aire)		
		CV-FV-1288	B
		CV-FV-2288	B
		CV-FV-1292	B
		CV-FV-2292	B
	Válvula de corte de seguridad (Gas)		
		CV-EV-1293	A
		CV-EV-2293	A
	Ventilador		
		CV-M-1289	B
		CV-M-2289	B
	Filtro en Y		
		CV-F-1285	C
		CV-F-2285	C

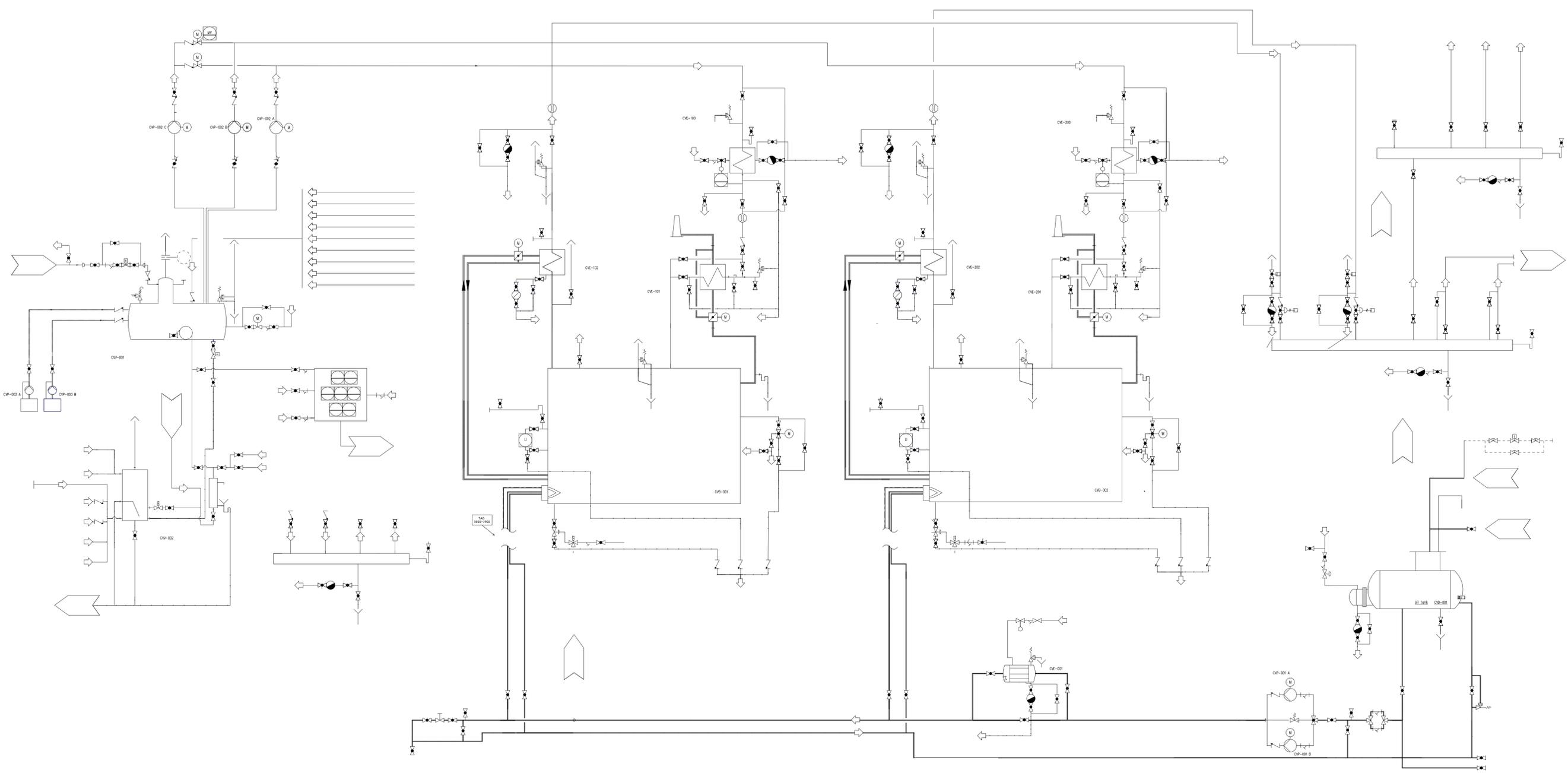
Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	
Módulo de regulación de presión		C	
	Manómetro		
		CV-PI-0221	C
	Transistor de temperatura		
		CV-TT-0216	C
	Transmisor de presión		
		CV-PR-0220	B
	Válvula diferencial de seguridad		
	CV-PV-0223	A	
<b>Circuito de Vapor</b>			
Caldera		B	
	Controlador de temperatura de gases de escape (entrada eco)		
		CV-TIC-1065	C
		CV-TIC-2065	C
	Controlador de temperatura de gases de escape (salida eco)		
		CV-TIC-1067	?
		CV-TIC-2067	?
	Controlador de nivel		
		CV-LIC-1069	A
		CV-LIC-2069	A
	Controlador de presión		
		CV-PIC-1078	A
		CV-PIC-2078	A
	Manómetro		
		CV-PI-1079	C
		CV-PI-2079	C
	Indicador de nivel		
		CV-LI-1082	C
		CV-LI-2082	C
	Controlador de conductividad		
		CV-CI-1089	A
		CV-CI-2089	A
	Válvula de seguridad		
		CV-PSV-1072	A

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
		CV-PSV-1072	A
	Válvula de marlposa motorizada (Gas)		
		CV-MV-1066	C
		CV-MV-2066	C
Recalentador			B
	Termómetro de lectura remota		
		CV-TI-1114	B
		CV-TI-2114	B
	Controlador de temperatura		
		CV-TIC-1112	B
		CV-TIC-2112	B
	Transmisor de temperatura		
		CV-TR-1111	C
		CV-TR-2111	C
		CV-TT-1124	C
		CV-TT-2124	C
	Manómetro		
		CV-PI-1109	C
		CV-PI-2109	C
	Transmisor de presión		
		CV-PT-1123	C
		CV-PT-2123	C
	Transmisor de caudal		
		CV-FT-1121	C
		CV-FT-2121	C
	Válvula de seguridad		
		CV-PSV-1115	A
		CV-PSV-2115	A
	Válvula reguladora de temperatura motorizada		
		CV-TV-1107	B
	CV-TV-2107	B	
<b>Circuito de purgas</b>			
Depósito BEM			C
	Manómetro		
		CV-PI-0195	
	Controlador de temperatura		C
	CV-TIC-0196	C	

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
	Válvula magnética	CV-TV-0197	C
	Válvula magnética	CV-LV-0193	C
	Módulo SCM		C
	Válvula automática (purga de lodos)	CV-HV-1095	
		CV-HV-2095	
Calderas de vapor			C
	Válvula magnética		
		CV-EV-1096	C
		CV-EV-2096	C
	Válvula motorizada (purga de sales)		
		CV-CIV-1086	C
		CV-CIV-2086	C
	Filtro		
		CV-F-1097	C
	CV-F-2097	C	
Recalentador			C
	Conjunto Purgador		
		CV-USV-1038	C
		CV-USV-2038	C
Depósito de combustible			C
	Conjunto Purgador		
		CV-USV-0253	C
Pre calentador de fuel			C
	Conjunto Purgador		
		CV-USV-0210	C
<b>Circuito colector</b>			
Colector SD-SS (Vapor saturado)			C
	Manómetro	CV-PI-0160	C
Colector SD-SH 1 (Vapor sobrecalentado)			C
	Transmisor de presión	CV-PT-0134	C
	Manómetro	CV-PI-0152	C

Equipo Principal	Tipo de Equipo	Tag	Criticidad
	Válvula con actuador eléctrico		
		CV-HV-1133	C
		CV-HV-2133	C
	Válvula triple excéntrica con actuador		
		CV-HV-1126	C
		CV-HV-2126	C
Colector SD-SH 2 (Vapor sobrecalentado de servicio)			C
	Manómetro		
		CV-PI-0142	C

## **7.2 PLANOS**

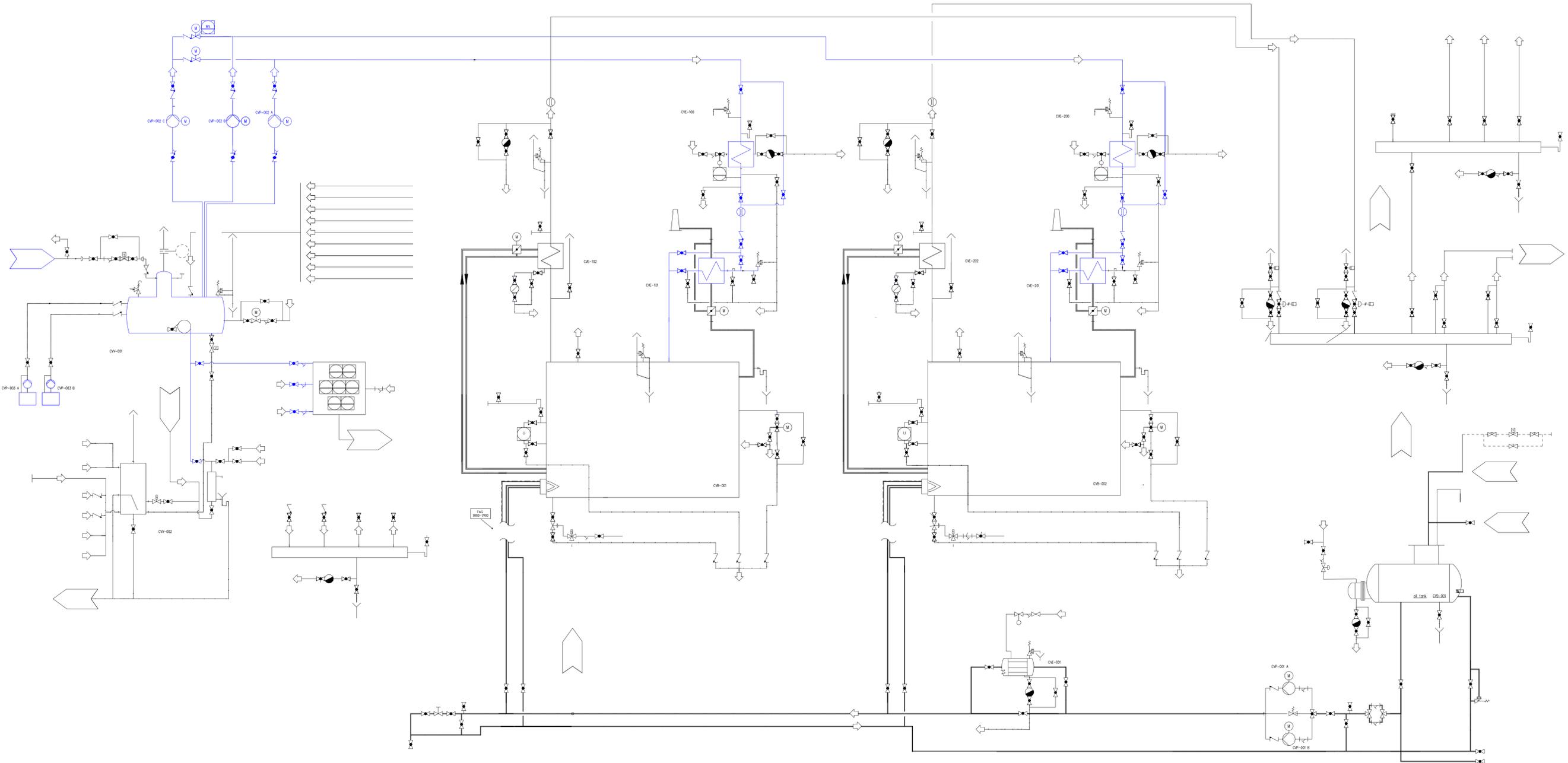


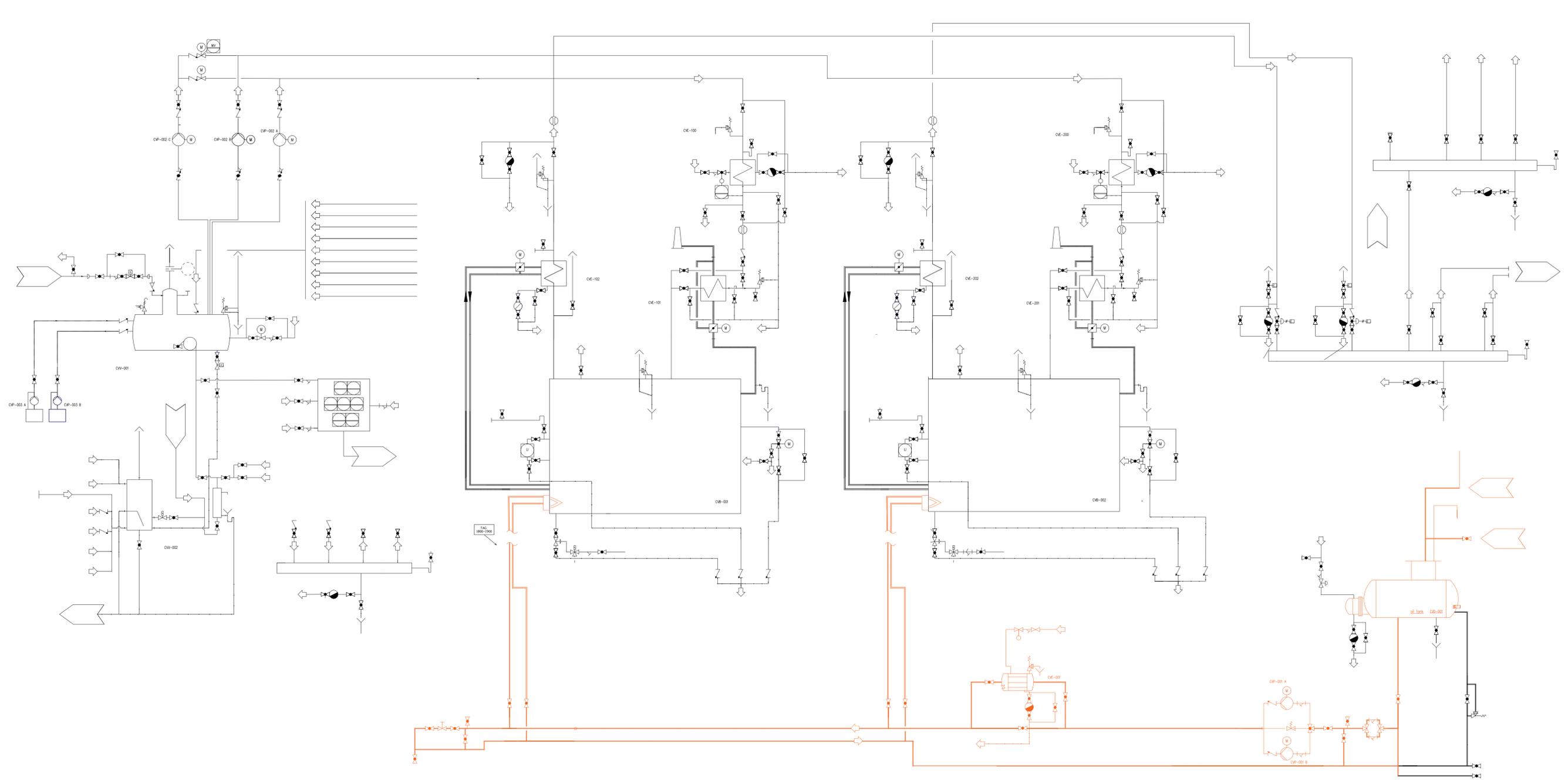
P.01

Título  
ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

Alumno  
JAVIER SANABRIA HERNÁNDEZ

Fecha  
SEPTIEMBRE 2017



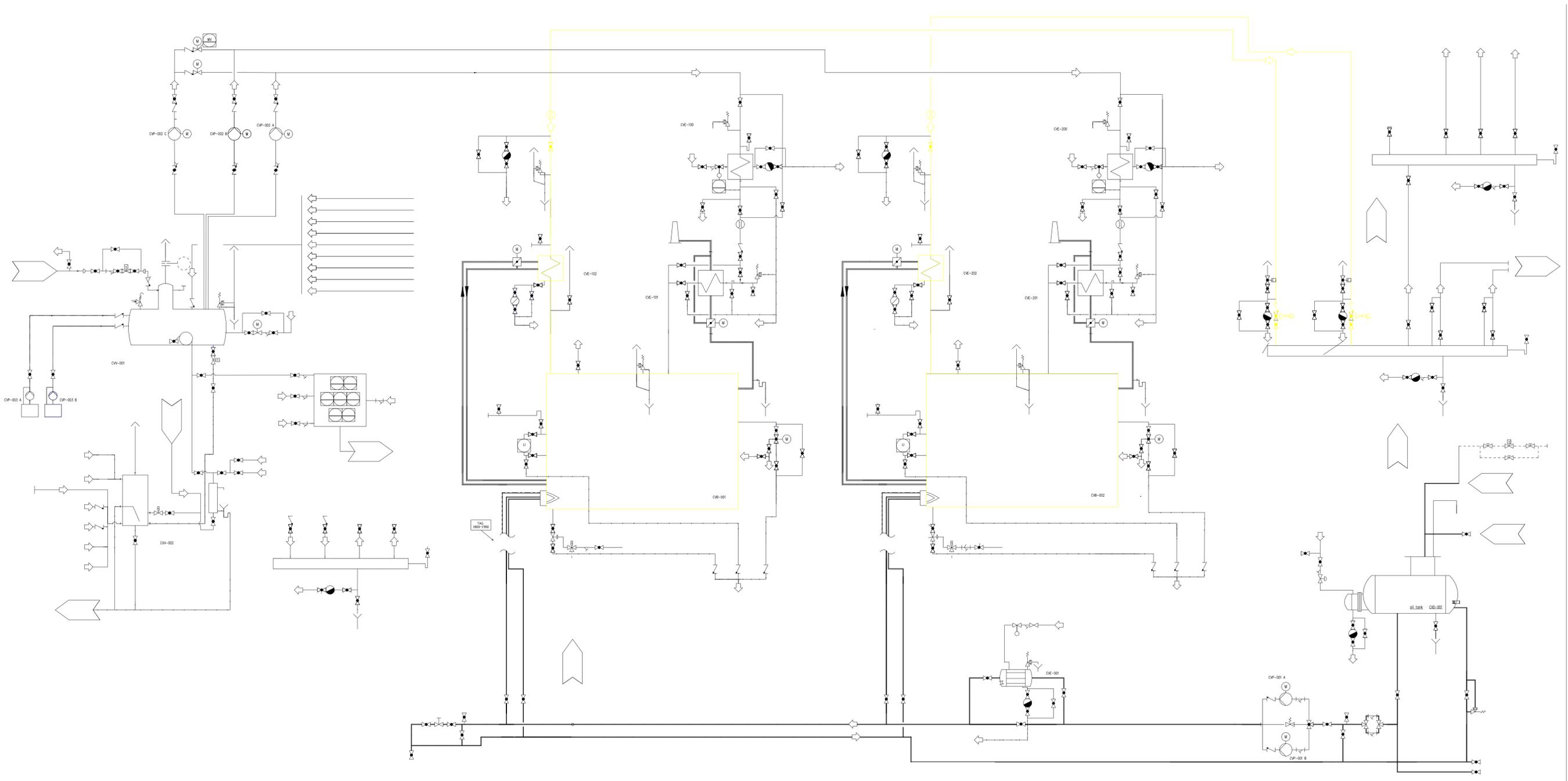


P.03

Título  
CIRCUITO DE FUEL

Alumno  
JAVIER SANABRIA HERNÁNDEZ

Fecha  
SEPTIEMBRE 2017

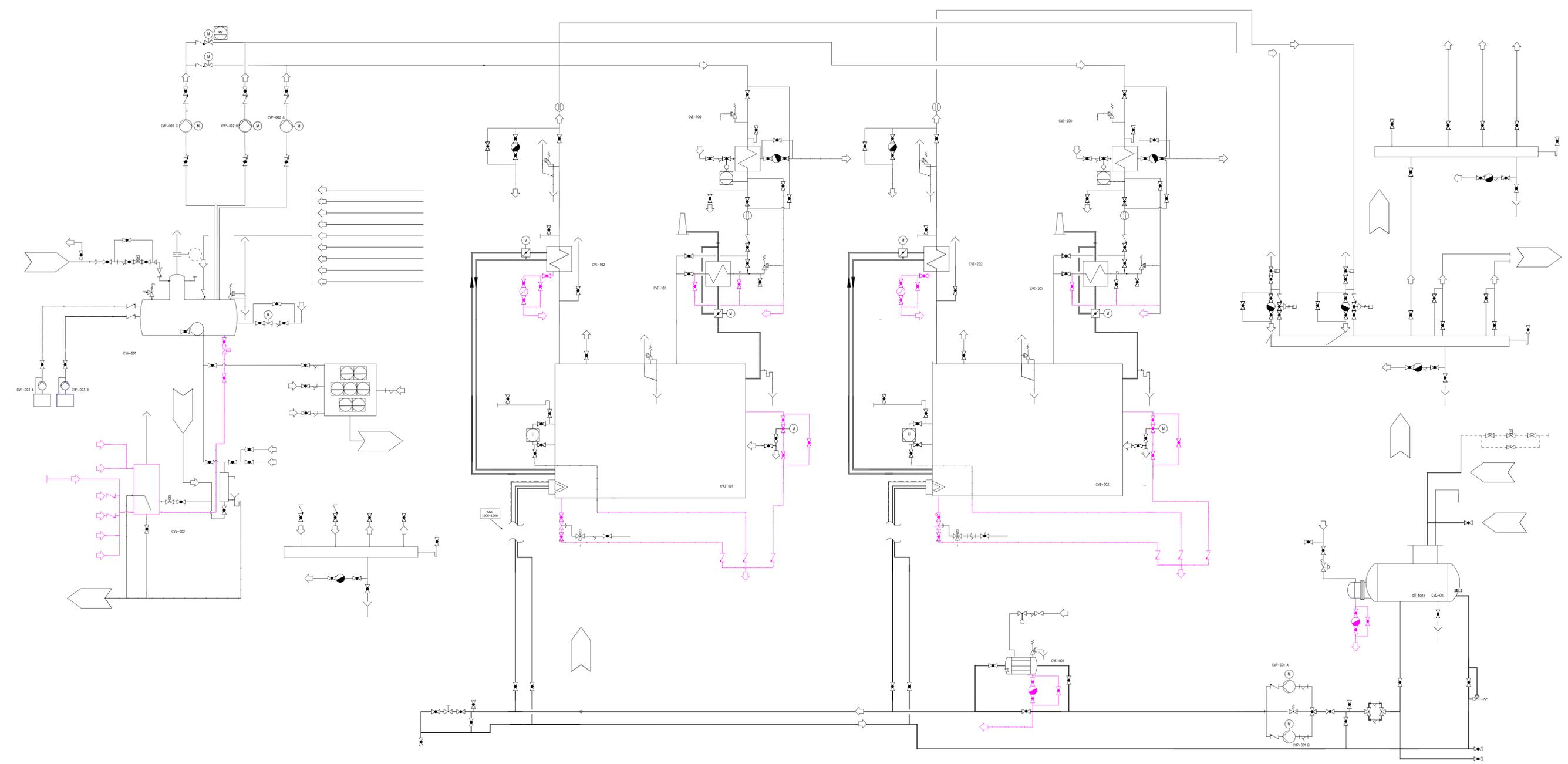


P.04

Título  
CIRCUITO DE VAPOR

Alumno  
JAVIER SANABRIA HERNÁNDEZ

Fecha  
SEPTIEMBRE 2017

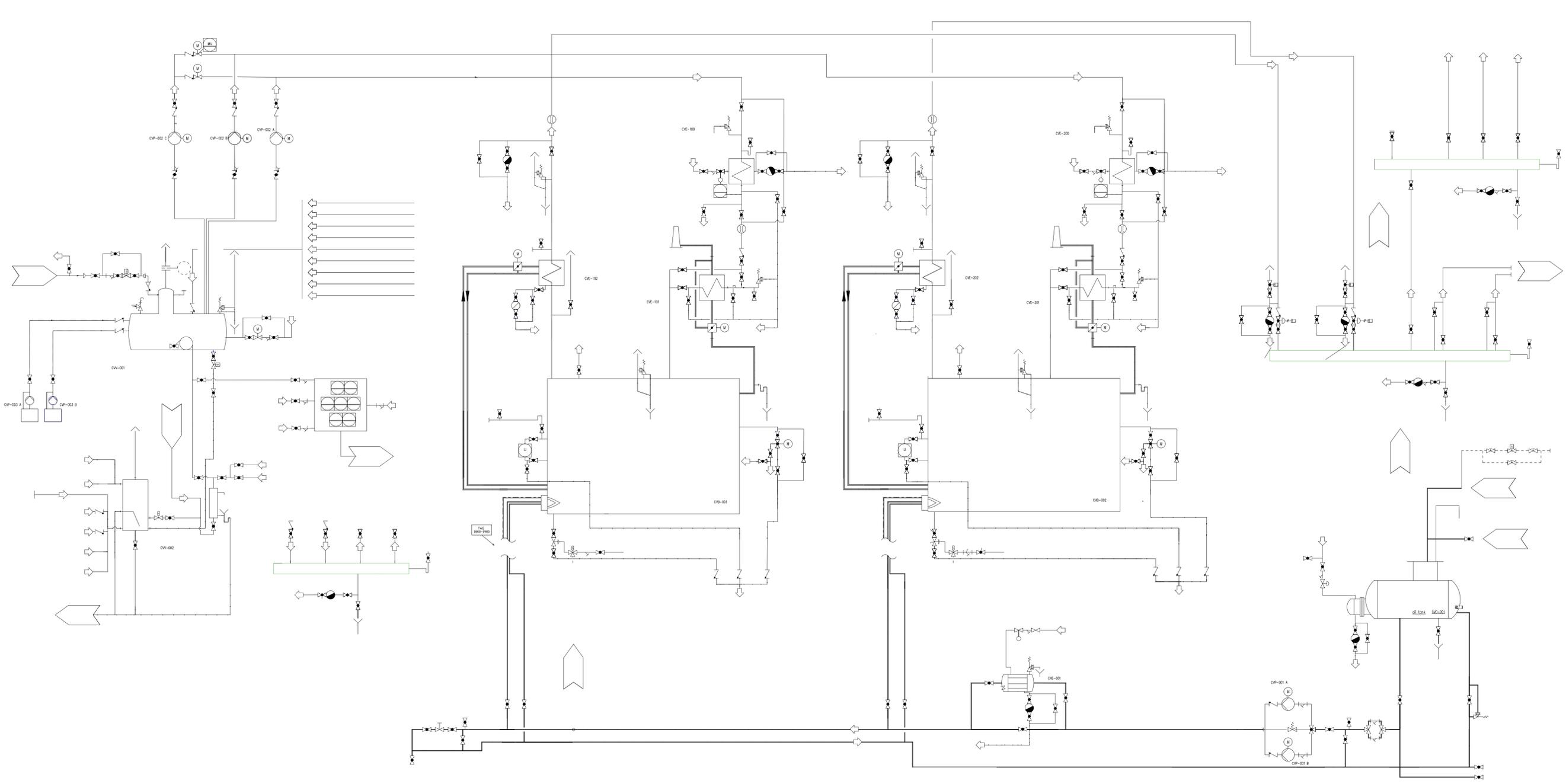


P.05

Título  
CIRCUITO DE PURGAS

Alumno  
JAVIER SANABRIA HERNÁNDEZ

Fecha  
SEPTIEMBRE 2017



P.06

Título  
COLECTOR

Alumno  
JAVIER SANABRIA HERNÁNDEZ

Fecha  
SEPTIEMBRE 2017