

APLICACIÓN DEL LEAN MANAGEMENT A LA PLANTA CEPSA



Trabajo Final de Grado

Número proyecto: TFGEQ_2014

4-GEQ Curso 2019-2020

Autores: Aziza Ennajar

Paula Balaguer Rizo

Jordi Cabello Oliva

Tutor: J.Diego Cazorla Martín

Tarragona, 29 de junio de 2020

<p>Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili. Vist i plaü pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.</p>	
<p>TÍTOL DEL TFGEQ: TFG-2014 Aplicación del Lean Management a la planta Cepsa SUBTÍTOL</p>	
<p>AUTOR: Paula Balaguer, Jordi Cabello y Aziza Ennajar</p>	
<p>CURS ACADÈMIC:Cuarto de Ingeniería Química.....</p>	
<p>VIST I PLAÜ DEL TUTOR ACADÈMIC</p>	
<p>En/Na J. Diego Cazorla Martín en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa</p> <p><input type="checkbox"/> no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex</p>	
<p>Signatura:</p> 	<p>Data: 17/06/2020</p>
<p>DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT</p>	
<p>En/Na J. Diego Cazorla Martín , en la seva capacitat de supervisor extern^(*) del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa CCP Asfaltos Tarragona.</p> <p>(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció</p>	
<p>Signatura:</p> 	<p>Data: 17/06/2020</p>

ABSTRACT

The present project is about the application of Lean Management in *Cepsa Comercial Petróleo Asfaltos* factory, located in Tarragona.

At the beginning, it focused to go deeper into the whole philosophy of Lean Management and extract all the possibilities and chances to use along the project. In addition, to fix all the new ideas, the 5S technique was applied in a common and usual place of the house.

After the consolidation of the new ideas, they were used throughout the project. Firstly, the energy consumption of gas at the plant was studied and several measures that helped to reduce the gas bill were proposed. Secondly, 'Value Stream Mapping' was also used to find a new operating system for cooling and filling large bags, aimed at reducing the time spent during the whole process.

Then, the steam production system was studied and different ways to improve it were investigated, first working on the automation of the valves and then changing the control of the system by means of new transmitters. Work has also been done on the sectorization of the areas by means of the new valves. Since ASESAs steam is also used, a new steam meter has been studied and implemented to a better control of the system.

At the same time, research was started on the possible improvement of bitumen recirculation. Because certain orders are larger than normal, the bitumen is stored in the largest available tanks. The product inside that tank suffered problems because of poor homogenization caused by a bad recirculation.

Therefore, after studying and understanding the operation, the recirculation of the tank was improved, ensuring proper homogenization. The load losses and the power required to transport the product along the circuit were calculated to ensure that the pump installed in the process can pump the bitumen without problems. Nevertheless, the safety of the whole new recirculation was studied by making a HazOp and miniLOPA to avoid possible issues on the future.

Also, the manufacturing report was enhanced because it was originally manual. Due to the amount of time that this required, a new automatic manufacturing report was developed, focused on being easy and simple.

Finally, an economic study has been made to check whether the proposals are feasible to implement.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Información del proyecto	8
1.2. Introducción a la fábrica.....	8
1.2.1. Localización	8
1.2.2. Meteorología y clima.....	9
1.2.3. Descripción de CCP Asfaltos Tarragona.....	10
1.3. Introducción al Lean Management	13
1.4. Herramientas del <i>Lean Management</i>	13
1.4.1. Las 5S	13
1.4.2. Herramienta TPM (Mantenimiento Productivo Total).....	14
1.4.3. Herramienta SMED	15
1.4.4. Herramienta QFD	16
1.4.5. Herramienta KANBAN	17
1.4.6. Herramienta TQM o Jidoka.....	17
1.4.7. Poka-yoke	18
1.4.8. Value Stream Mapping (VSM)	18
2. ETAPA PRELIMINAR	20
2.1. Alcance del proyecto.....	20
2.2. Planificación Gantt.....	21
3. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DEL LEAN MANAGMENT	22
3.1. Aplicación de las 5S.....	22
3.1.1. Extrapolación 5S a escala industrial.....	22
3.2. Aplicación del VSM en la operación de envasado de betún	23
3.2.1. Introducción.....	23
3.2.2. Operación de enfriamiento y llenado actual.....	24
3.2.3. VSM del proceso actual.....	26
3.2.4. VSM mejorado	28
3.3. Aplicación del Jidoka en el parte de fabricación de betún modificado.....	31
3.3.1. Parte de fabricación actual.....	31
3.3.2. Propuestas de mejora	35
3.3.3. Parte de fabricación modificado.....	36
4. PROYECTOS DE MEJORA.....	38
4.1. Circuito de vapor.....	38

4.1.1. BFD actual.....	38
4.1.2. PFD actual.....	40
4.1.3. P&ID's actuales.....	42
4.1.4. Propuesta de mejoras aplicadas.....	46
4.1.5. BFD modificado.....	46
4.1.6. PFD modificado.....	48
4.1.7. P&ID's modificados.....	50
4.1.8. Control del proceso modificado.....	54
Control depósito de condensados V-X10.....	54
Control caldera B-XX1.....	54
Control tanque T-103.....	55
4.1.9. Listado de equipos.....	56
Listado de válvulas.....	56
Listado de tuberías.....	58
Listado de instrumentación.....	59
4.2. Recirculación del betún en tanque T-04.....	60
4.2.1. Situación actual de la línea de recirculación de betún.....	60
4.2.2. Propuestas de mejoras aplicadas.....	65
4.2.3. Rediseño de la recirculación del betún.....	65
Redistribución de la línea de recirculación.....	65
Elección de los elementos de control necesarios.....	65
Comprobación del tipo de bomba.....	67
4.2.4. HazOp y miniLOPA.....	70
5. ESTUDIO CONSUMO ENERGÉTICO.....	73
5.1. Equipos implicados en el consumo.....	73
5.2. Consumo de gas mensual.....	73
5.3. Consumo de gas diario.....	75
5.4. Potencia contratada.....	76
5.5. Medidas de ahorro energético/económico.....	78
5.6. Propuesta para la puesta en marcha.....	78
5.7. Reducción de la potencia contratada.....	80
5.8. Comparación vapor ASES y vapor de producción propia.....	82
5.9. Elección de caudalímetro.....	83
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	84
6.1. Coste de mejoras propuestas.....	84

6.2. Ahorro por la reducción de potencia contratada	86
6.3. VAN y TIR en la recirculación de betún	86
7. CONCLUSIONES	87
8. BIBLIOGRAFÍA	90
A. ANEXOS	93
A.1. Extrapolación 5S a pequeña escala	93
A.2. Gráficos de consumo mensual.....	108
A.3. Funcionamiento de las calderas.....	123
A.4. Consumo promedio de cada caldera.....	129
A.5. Catálogo de las válvulas seleccionadas	129
A.6. Coste de tonelada de vapor generado.....	131
A.7. Hoja técnica del caudalímetro	132
A.8. Cálculo del rediseño de la recirculación de betún.....	137
A.8.1. Línea de recirculación de betún.....	139
A.8.2. Circuito de aceite	141
A.9. Evaluación económica.....	146
A.9.1 Cálculo del VAN y del TIR en el rediseño de la recirculación de betún	149

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ha llevado a cabo mediante la colaboración de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química (EtsEQ) de la Universidad Rovira i Virgili (URV) con la empresa Cepsa Comercial Petróleo (en adelante CCP) Asfaltos Tarragona. En un principio el proyecto estaba pensado para realizarlo en la empresa, pero debido al estado de alarma decretado por la pandemia del virus COVID-19 no se ha podido llevar a cabo la estancia en la empresa, lo cual ha resultado en un cambio del alcance del proyecto.

El proyecto consiste en aplicar varias herramientas del *Lean Management* en la empresa CCP Asfaltos Tarragona rigiéndose por la filosofía del *Lean*: evitar el desperdicio o muda. Para conseguirlo se dispone de varias herramientas tales como las 5S, herramienta Kanban, Jidoka, Poka-Yoke, etc. En ese proyecto se han ido planteando varias propuestas de cambios operativos con tal de cumplir con dicho principio.

1.1. Información del proyecto

Título	Aplicación de técnicas del <i>Lean Management</i> en CEPSA
Número identificador	TFGEQ_2014
Fecha	29 de junio de 2020
Miembros del equipo	Aziza Ennajar Paula Balaguer Rizo Jordi Cabello Oliva
Tutor	J.Diego Cazorla Martín

Las tareas que ha realizado cada miembro del equipo dentro del presente proyecto se identifican con el sistema de colores que se indica a continuación:

- **Azul:** Aziza Ennajar.
- **Rojo:** Paula Balaguer.
- **Verde:** Jordi Cabello.

Cabe destacar que las tareas que se citan a continuación se identifican en este apartado:

- 1) Caldera de vapor - P&ID X-014: Paula Balaguer.
- 2) Circuito de vapor - P&ID X-015: Jordi Cabello.
- 3) Circuito de condensados - P&ID X-016: Aziza Ennajar.

1.2. Introducción a la fábrica

1.2.1. Localización

El proyecto se ha llevado a cabo con la colaboración de la empresa CCP Asfaltos Tarragona situada en el Polígono Industrial Francolí, Camí Particular 5 43006 Tarragona.

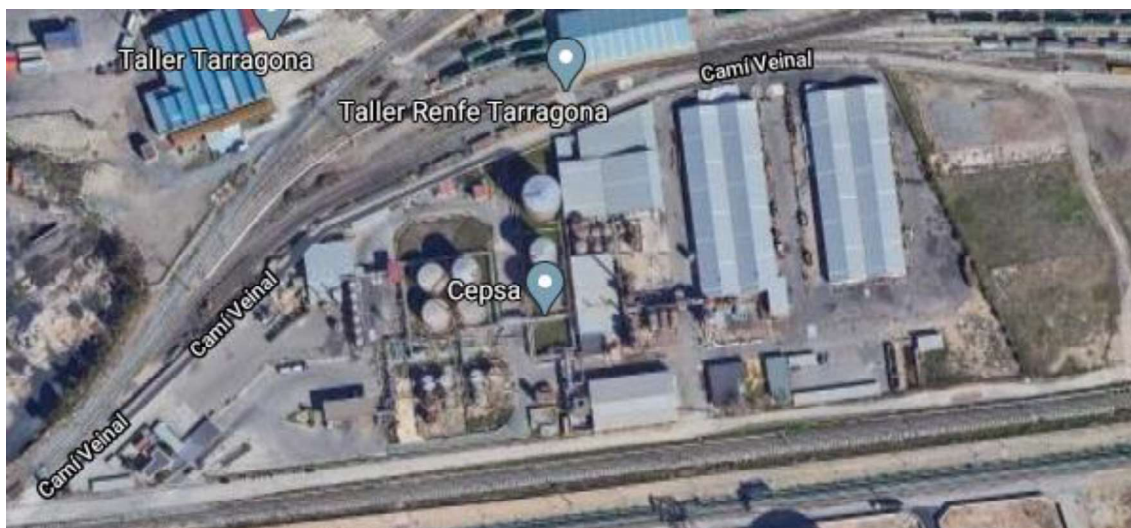


Figura 1.1. Vista aérea de la plana CCP Asfaltos Tarragona.

1.2.2. Meteorología y clima

En Tarragona, el clima se caracteriza por veranos cortos, calientes y mayormente despejados; los inviernos son más largos que los veranos, más fríos, ventosos y parcialmente nublados. La temperatura media durante el transcurso del año varía de 5°C a 29°C, rara vez la temperatura baja de los 0°C o sube más de los 32°C. La probabilidad de precipitaciones en las diferentes temporadas no supera 20%, en cambio en la temporada seca se acerca al 5% de posibilidades de lluvias. La humedad de media anual se aproxima al 70% lo cual hace que los veranos sean extremadamente bochornosos, esto se combina que en las temporadas de verano el viento se reduce considerablemente.

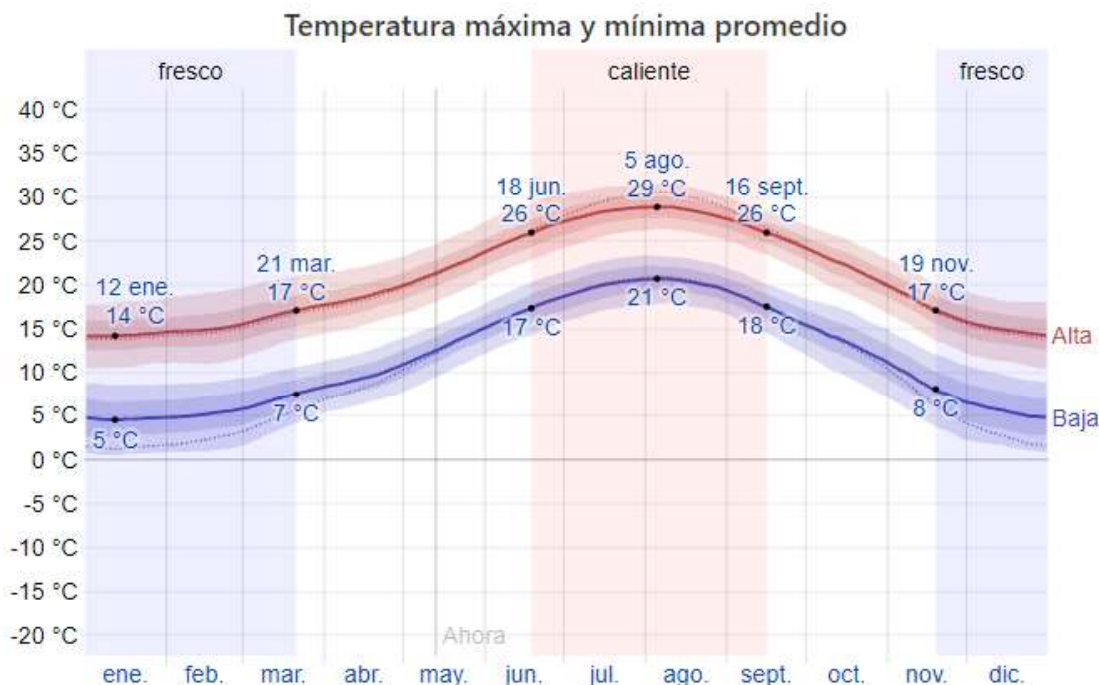


Figura 1.2. Evolución de la temperatura promedio durante el año en Tarragona.^[1]

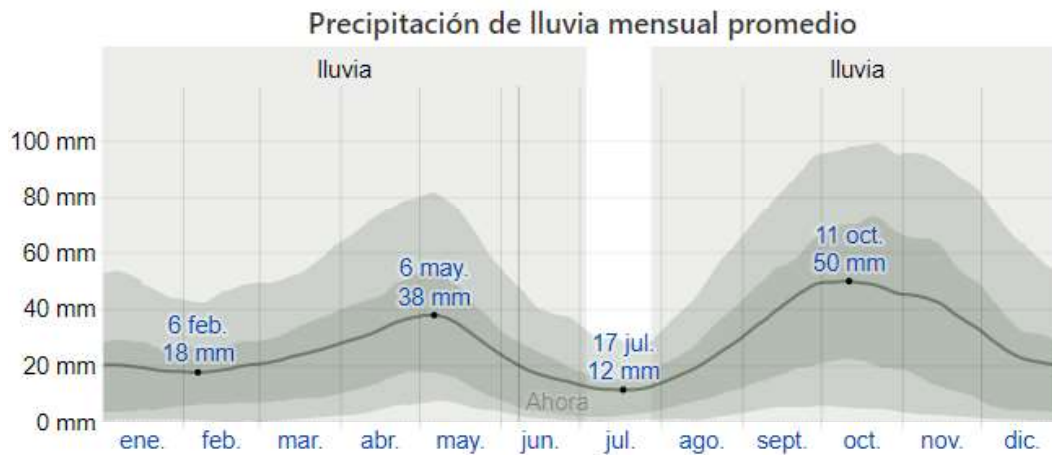


Figura 1.3. Evolución de la precipitación durante el año en Tarragona.^[1]

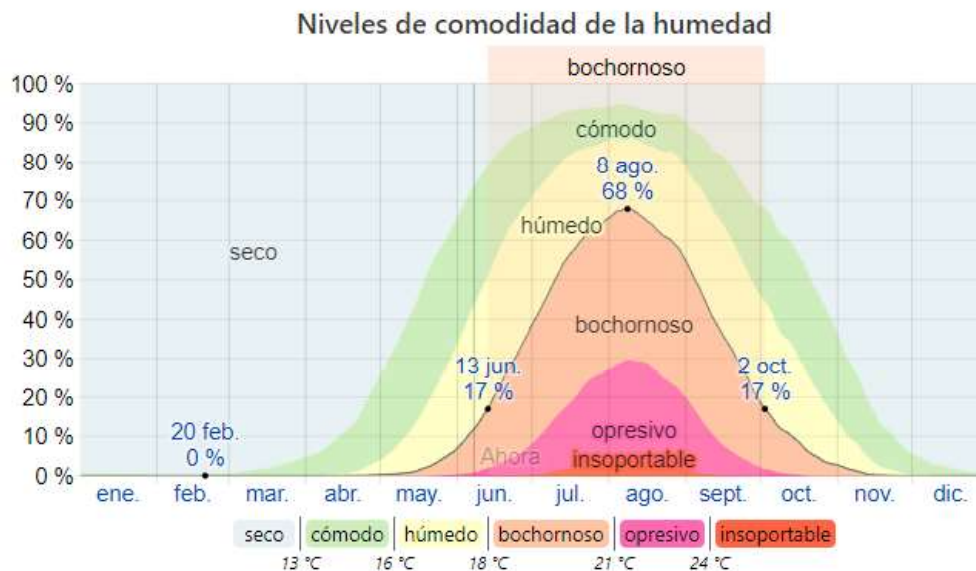


Figura 1.4 Evolución de la humedad durante el año en Tarragona.^[1]

1.2.3. Descripción de CCP Asfaltos Tarragona

En la factoría de Cepsa en Tarragona se fabrica y se distribuyen productos asfálticos para industrias y obras públicas, en concreto betunes, los cuales son producidos a partir de tipos de crudos específicos, ricos en ciertos componentes que garantizan que el producto sea de alta calidad. Estos betunes se modifican para obtener emulsiones bituminosas y derivados especiales para aplicaciones industriales.

La factoría tiene varias subdivisiones que se introducen a continuación.

- **Planta de betún modificado**

La producción de betún modificado se lleva a cabo mediante la combinación de un polímero y el betún, generando una mezcla estable que mejora las propiedades convencionales del betún.

El betún se puede producir de dos maneras, con polímeros y con goma. Cada una de ellas tiene ciertas propiedades.

Para la producción con goma se utiliza un polvo de caucho de neumáticos usados con betún a altas temperaturas para producir una interacción entre los dos componentes. Una vez entran en contacto, la goma absorbe el betún. La goma va aumentando el tamaño y esto provoca que la distancia entre las partículas y el adhesivo se reduzca. Esto se traduce en un aumento de viscosidad.

Las propiedades del betún modificado dependen de la naturaleza y composición del tipo de betún y del tipo de goma así como las proporciones de los componentes, el tamaño de las partículas, el tiempo de mezcla y la temperatura de operación.

- **Planta de Emulsiones**

Una emulsión es un sistema estable compuesto por dos líquidos inmiscibles, donde uno de ellos se dispersa en otro en forma de pequeñas gotas. El primero se le conoce como fase dispersa, el segundo se le denomina fase estable.

Una emulsión asfáltica consiste en dos fases (agua y betún) y una tercera fase añadida al emulsionante. El emulsionante consiste en una solución acuosa estabilizada con tensioactivos. Estos pueden ser polares o apolares dependiendo del tipo de betún que se quiera producir.

Dependiendo del tipo de emulsionante que se utilice y de la proporción, habrá una ruptura más rápida o lenta entre el betún y la capa emulsionante. La variación de la concentración del betún también determina la viscosidad de la emulsión.

Este tipo de emulsiones se utilizan como adhesivo intermedio de diferentes capas de asfalto, los cuales una vez pierden la humedad se solidifican.

- **Sistemas Auxiliares**

Para poder almacenar el betún sin que pierda las propiedades, se dispone de un sistema de líneas de vapor que mantienen los tanques a una temperatura de 130-185°C.

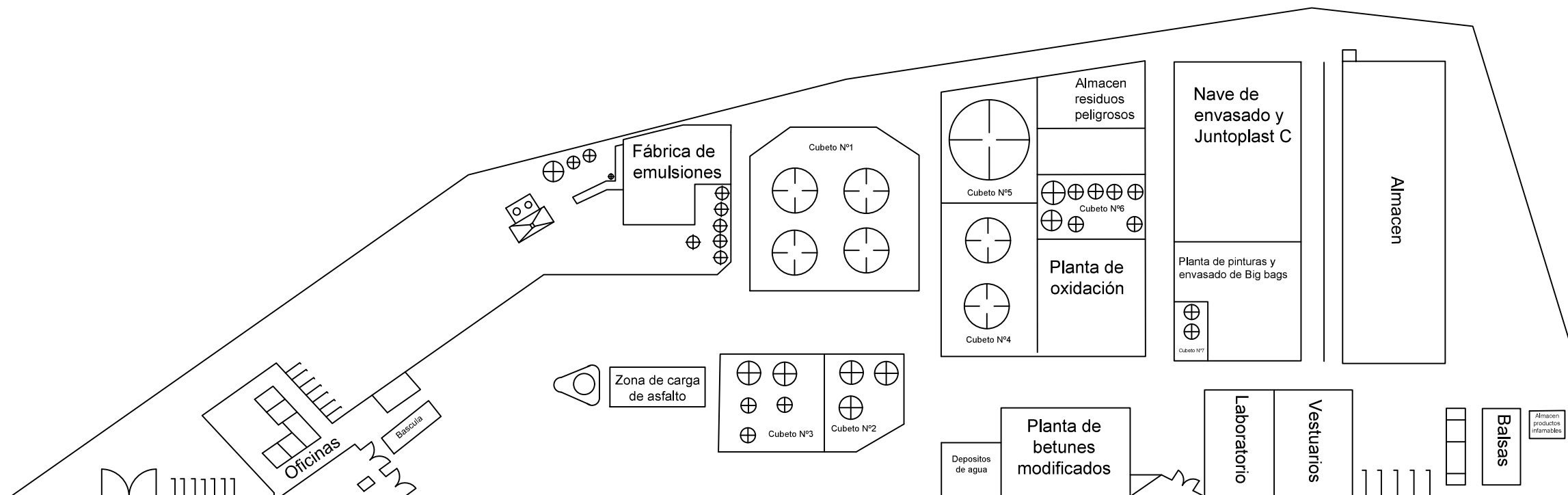
El vapor para mantener la temperatura se genera en una caldera instalada en la planta, la cual utiliza gas natural como fuente de energía para generar calor, convirtiendo el agua en vapor. Una vez este vapor ya ha circulado por los tanques y las líneas que transportan producto, vuelve como condensado a unos 90-100°C al depósito de condensados (V-X10). El propósito de este depósito es mantener una continua alimentación a la caldera.

Este depósito también está conectado al tanque (T-103) cuyas funciones son alimentar el depósito de condensados en caso de necesidad de agua y almacenar el agua del depósito en caso de tener un nivel muy alto en este. En el caso de que el tanque llegue a un nivel máximo de agua, este dispone de una purga para aliviar el exceso de agua.

Debido a que los viernes por la noche se para la planta, la caldera deja de generar vapor. Por ello, se usa una corriente de vapor suministrado por ASES, el cual tiene una temperatura de aproximadamente 150°C y un rango de presión de 2,5 a 3,5 bar. Esta bajada de presión y temperatura produce el descenso de unos 10°C en las líneas de vapor. Posteriormente, cuando se vuelve a poner en marcha la planta el domingo por la noche, se va recuperando paulatinamente la temperatura en las líneas.

Para favorecer la circulación de producto a una temperatura más elevada en los tanques se usa aceite térmico. Este aceite térmico es calentado en diferentes calderas de aceite hasta los 200°C a una presión de 3 bar. Una vez que el fluido ha calentado los productos, regresa al colector donde se bombea a las calderas de aceite para ser calentado nuevamente.

A continuación, se puede observar el *plot plant* donde figura la localización de las diferentes plantas de la factoría.



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PLOT PLANT

Nº 1

Escala
S/E

Fecha
Abr-11

1.3. Introducción al Lean Management [2], [3], [4], [5], [6],[7]

El *Lean Management* consiste en una evolución del *Lean Manufacturing*, el cual fue iniciado en Japón a finales del siglo XIX por Sakichi Toyoda, fundador de Toyota. Este método surgió por la necesidad de detectar incidencias y problemas de calidad en la confección de los productos de *Toyota Production System*. También fue aplicado en la Segunda Guerra Mundial ya que Japón se vio obligado a producir más con menos recursos.

Mientras el *Lean Manufacturing* se refiere solo a la aplicación de técnicas y herramientas aplicadas a procesos de producción, el *Lean Management* abarca todo tipo de actividad que se desarrolla en la empresa.

La filosofía *Lean* se centra en generar más a partir de pocos recursos, consiguiendo esto a partir de ir acercando y encajando todo lo que puede influir dentro de una empresa, haciéndola funcionar de manera más eficiente. Esto significa una mejora continua a largo plazo, buscando pequeños cambios graduales dentro de la empresa con tal de mejorar la calidad y aumentar la eficiencia. También se intenta lograr que los productos salgan en el momento y lugar indicados, en la cantidad especificada y con un coste mínimo.

Para llevar a cabo todos los objetivos propuestos, se debe prescindir de todos los agentes, procesos y herramientas que no generen valor en lo que respecta al producto (desperdicios). Esto significaría más calidad, un mejor servicio y un plazo de entrega con los menores gastos posibles. Estos ‘desperdicios’ podrían tratarse tanto de sobreproducción, como tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento, defectos y potencial humano infrautilizado. Lo que causan es un aumento en el coste y las necesidades financieras sin que se observe un crecimiento del valor que recibe el cliente.

Para aplicar el *Lean Management*, es necesario el apoyo por parte de todas las partes que forman una compañía, desde dirección a gerentes, ingenieros y líderes de producción, Además de los operarios. Otra ventaja es que, al ser aplicado en toda la empresa, impulsa el trabajo en equipo haciendo que haya una calidad total.

Ahora bien, la filosofía *Lean* cuenta con varias herramientas que ayudan a llevar a cabo sus objetivos, eliminando y/o reduciendo las operaciones que no agregan valor al producto, al servicio y a los procesos. Así, consiguen aumentar el valor de cada actividad realizada y eliminar lo que no se necesita, optimizando lo que aporta valor. Las herramientas más potentes y que han ofrecido mejores resultados se explican a continuación.

1.4. Herramientas del Lean Management

Para aplicar el concepto del *Lean Management* hay varias herramientas disponibles, las cuales todas siguen la misma filosofía, pero cambia la forma de aplicarlas. A continuación, se comentarán los tipos más usados.

1.4.1. Las 5S [8], [9]

Es la primera técnica que se tiene que implantar si se quiere fomentar la cultura *Lean* en la empresa, es la base sobre la que se sustentan todas las otras técnicas. Consiste en una técnica japonesa de gestión industrial y es una buena herramienta para el aumento de la productividad sin invertir una gran cantidad de dinero. Son cinco principios: separación, ordenación, limpieza, estandarización y autodisciplina. Cada uno de estos principios esta designado a cada una de sus etapas. Para ello requiere de compromiso del personal, como limpieza, organización, seguridad e higiene.

Su aplicación abraza cualquier lugar y/o espacio, ya sean grandes industrias como la propia vivienda.

El desarrollo detallado de la técnica de las 5S se encuentra en el apartado 3.1.1 donde se explica cómo se puede hacer la extrapolación de estas etapas a escala industrial.

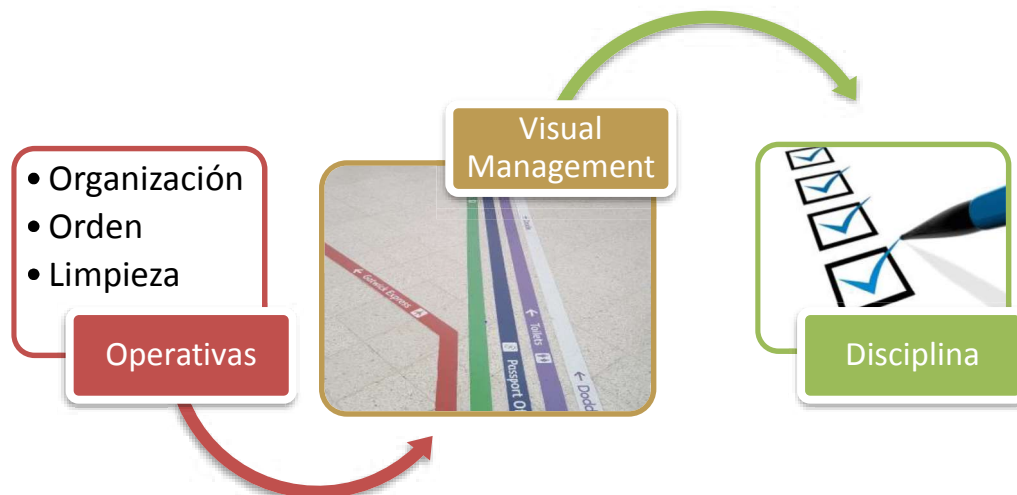


Figura 1.5. Esquema de la categorización de las 5S.

1.4.2. Herramienta TPM (Mantenimiento Productivo Total) ^{[10], [11], [12], [13]}

Es una filosofía de gestión del mantenimiento nacida en Japón. El objetivo de esta herramienta es asegurar la disponibilidad del equipo y/u operación eliminando las pérdidas en producción. Las grandes pérdidas son averías, preparaciones, tiempos muertos y paradas cortas, funcionamiento a velocidad reducida, etc. En resumen, busca aumentar al máximo la productividad.

El TPM se fundamenta sobre 6 pilares con el objetivo de evitar o minimizar las pérdidas y son los que se muestran a continuación:



Figura 1.6. Representación piramidal de los 6 fundamentos del TPM.

La herramienta se constituye por 5 a 6 fases de aplicación dependiendo de la capacidad de la industria donde se aplica.

1. Limpieza inicial

En esta fase inicial se procede a la limpieza de la suciedad, polvo, eliminación de posibles escapes e identificación de defectos.

2. Medidas para descubrir causas de suciedad

Una vez se ha procedido a la limpieza, se busca mantenerla. Por lo tanto, se busca una mejora en los accesos para facilitar la inspección y reducción del tiempo dedicado a la limpieza.

3. Preparación de procedimientos de limpieza

En esta fase se preparan los procedimientos a seguir en casos de limpieza para el personal encargado de las áreas/máquinas donde se está procediendo a aplicar la herramienta.

4. Inspecciones generales

Después de haber estandarizado en la fase anterior, se entrena al personal para que pueda inspeccionar y chequear el equipo en busca de fallos.

5. Inspecciones autónomas

Se realizan *checklists* de los equipos y/u operaciones por los propios operarios. En esta fase se implanta el mantenimiento preventivo periódico realizado por el personal que opera el equipo.

6. Optimización y autonomía en la actividad

Esta última fase tiene como objetivo desarrollar una cultura hacia la mejora continua de la empresa mediante la aplicación de los procedimientos establecidos. Se apunta sistemáticamente el tiempo entre fallos, se analizan y se buscan soluciones.

1.4.3. Herramienta SMED ^{[14], [15]}

Una traducción de esta herramienta (*Single-Minute Exchange of Die*) al castellano sería “cambio de matriz en menos de 10 minutos”. Esta herramienta surgió de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes que pasaban por las prensas de estampación, optimizando el tiempo en los cambios de empleados en pasar de una matriz a otra.

Este proceso sirve para reducir el tiempo de cambio y aumentar la fiabilidad del proceso para reducir los riesgos de averías o de defectos en el producto.



Figura 1.7. Esquema de las diferentes etapas que componen la herramienta SMED.

A continuación, se explican las diferentes etapas de esta herramienta.

- **Etapla preliminar**

En esta etapa se crea un equipo multidisciplinar de mejora en el que se implican todos los departamentos de la empresa. Para finalizar esta etapa preliminar se crean distintos sistemas de control necesarios para hacer posible el seguimiento y avance del programa.

- **Etapla 1**

Se trata de estudiar cada una de las actividades que se realizan durante el proceso. Puede ser mediante grabación para posteriormente estudiar todo el proceso de fabricación o para poder ver posibles mejoras en el proceso o en el producto.

También se tienen que separar las actividades y categorizarlas como externas o internas. Externa es que se puede hacer con el equipo/máquina en marcha y la interna no. Si una actividad es externa no afecta al tiempo de ejecución del ciclo total del proceso, por lo tanto, cuantas más actividades sean externas mejor.

- **Etapa 2**

Organizar y planificar para que todas las actividades externas estén preparadas en el momento que vaya a comenzar el proceso de cambio de referencia. La mejor opción suele ser una *checklist* a realizar en la zona donde se está aplicando este método.

Hay que incluir también un plan de acción para lograr cuanta más actividades externas para reducir posibles fallos o incrementos de tiempo de producción.

- **Etapa 3**

Consiste en reducir los tiempos de las actividades internas. En esta fase se dan ideas y se implantan medidas para reducir las tareas internas lo máximo posible ya que son las que más afectan a todo el proceso de producción.

- **Etapa 4**

Finalmente se realiza un seguimiento y una revisión periódica de cómo evolucionan las medidas implantadas y si aún se pueden realizar mejoras.

1.4.4. Herramienta QFD [16], [17], [18]

Esta metodología propone valorar cuantitativamente las características y funciones que se deben añadir al diseñar un producto o servicio partiendo de los datos cuantitativos aportados por los clientes acerca de los productos. De esta forma se elaboran 4 matrices de información interrelacionadas unas con otras.

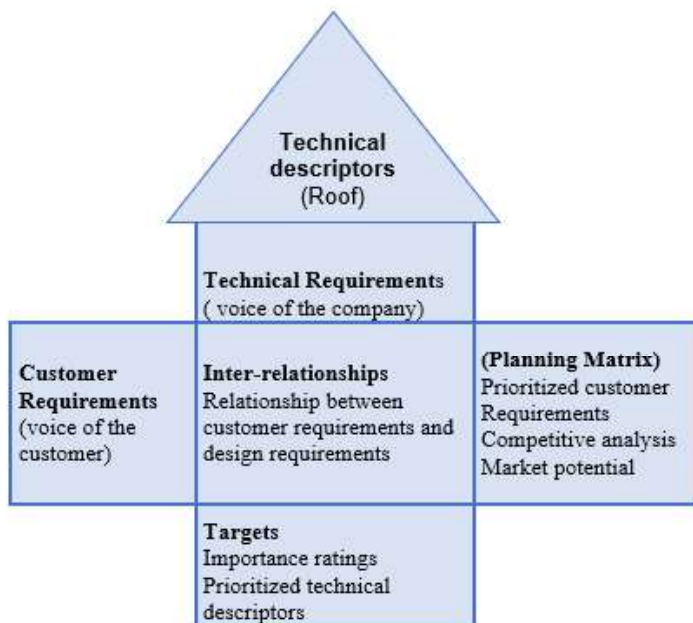


Figura 1.8. *House of quality* es una herramienta que se utiliza en el método QFD y con la cual se relaciona las especificaciones del cliente con los PI (*Performance Indices*).

- **Matriz A**

Primero de todo, esta matriz se elabora con las especificaciones técnicas exigidas por los clientes para el producto y se busca funcionalidad. Todo esto está controlado por el departamento de ingeniería para diseñarlo.

- **Matriz B**

En esta matriz se integran las exigencias técnicas y tecnológicas que ha de tener el producto. También se mira de cara al futuro, qué problemas podría tener cuando se desarrollen los productos, garantizar la mayor fiabilidad del producto y aumentar significativamente la seguridad con el menor coste posible.

- **Matriz C**

El objetivo es planificar el proceso de industrialización. Aquí se estudian los procesos productivos actuales de la empresa y cómo encajar el nuevo producto en la fábrica de forma que se puedan aprovechar deshechos de otros procesos como materias primas.

- **Matriz D**

Se planifican los recursos, maquinaria, estándares de trabajos dentro de las instalaciones de producción y la capacidad de la empresa.

1.4.5. Herramienta KANBAN ^[19]

La traducción literal de esta palabra japonesa es “tarjetas visuales”. El objetivo de esta herramienta es controlar que se produzca la cantidad necesaria empleando el tiempo necesario mediante el uso de señales visuales que regulan la demanda de producción.

Dentro de las varias herramientas que usan, existe el muro Kanban, que es una pizarra donde se ponen las tarjetas con la información necesaria. El objetivo consiste en que todo el equipo tenga algo que hacer y tener clara la prioridad de las tareas. Un factor para limitar es el número de tareas que se pueden realizar en cada fase evitando de este modo una saturación de estas. Estas tareas también están limitadas a nivel de tiempo, precisamente para evitar demoras y problemas de producción.

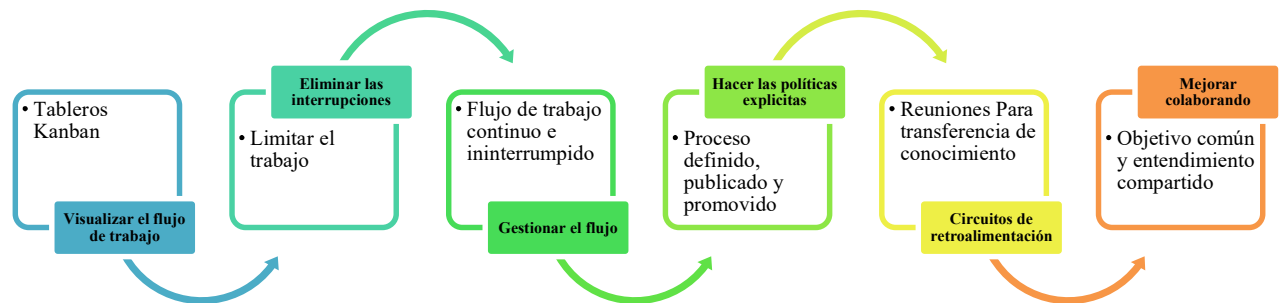


Figura 1.9. Esquema de las 6 prácticas de la herramienta Kanban.

1.4.6. Herramienta TQM o Jidoka ^[20]

La Herramienta TQM o Jidoka consiste en ingeniar un método de tal manera que cada proceso disponga de su propio autocontrol de calidad. El autocontrol abarca la corrección de las irregularidades puntuales, la búsqueda de la causa y su erradicación.

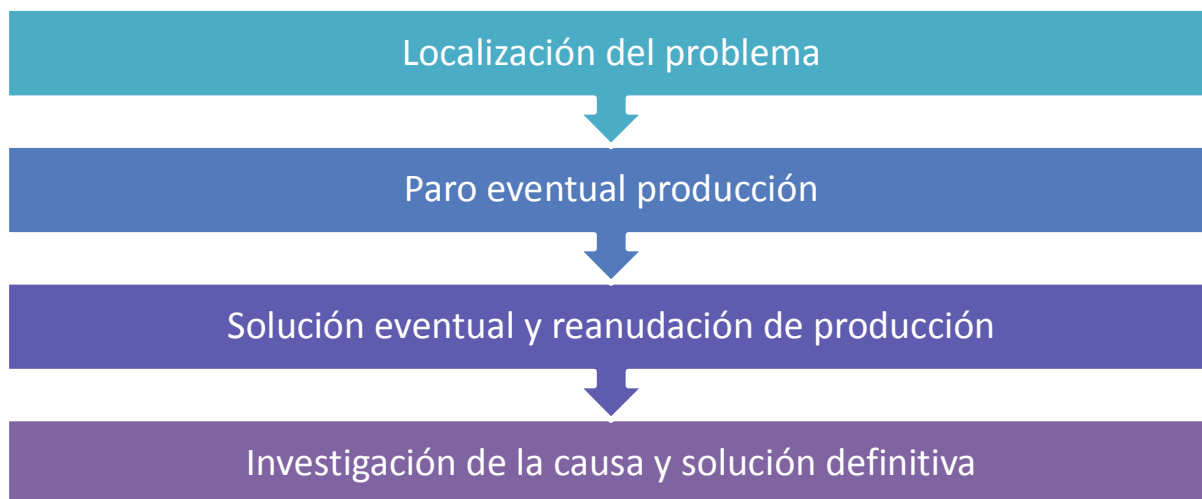


Figura 1.10. Esquema de las fases que siguen en el método TQM.

1.4.7. Poka-yoke

Poka-yoke tiene como objetivo eliminar y evitar cualquier tipo de error impidiendo de este modo que el personal pueda equivocarse.

Los principios sobre los que se basa la herramienta son: imposibilitar el error humano, y en caso que se haya cometido, resaltarlos mediante sistemas de alarma (visuales o sonoras).

1.4.8. Value Stream Mapping (VSM)

El VSM consiste en una técnica gráfica que ayuda a visualizar el proceso el cual se está analizando. Esta técnica es una herramienta de la metodología *Lean manufacturing* que permite analizar y mejorar el flujo de los productos de la información dentro del proceso, desde el inicio hasta la entrega al cliente.

Esta herramienta se usa para encontrar oportunidades de mejora, eliminando los desperdicios que se producen durante la producción.

Para poder aplicarla, se ha de seguir los siguientes puntos:

- **Fase 1:** Identificar la familia de productos a estudiar y mejorar.

Para identificarlos, una familia de productos son los productos que comparten tiempo y equipo durante el proceso. Para facilitarlos se puede usar una matriz producto proceso de los diferentes equipos.

- **Fase 2:** Realizar el VSM del estado actual.

En esta fase, se tienen que seguir las pautas indicadas por las evidencias encontradas sobre el proceso. Se tienen que dibujar los elementos básicos, incorporar los datos, representar la localización de los diferentes tipos de inventarios, y representar la línea del tiempo.

En la figura 1.11 se puede observar la simbología que se utiliza:

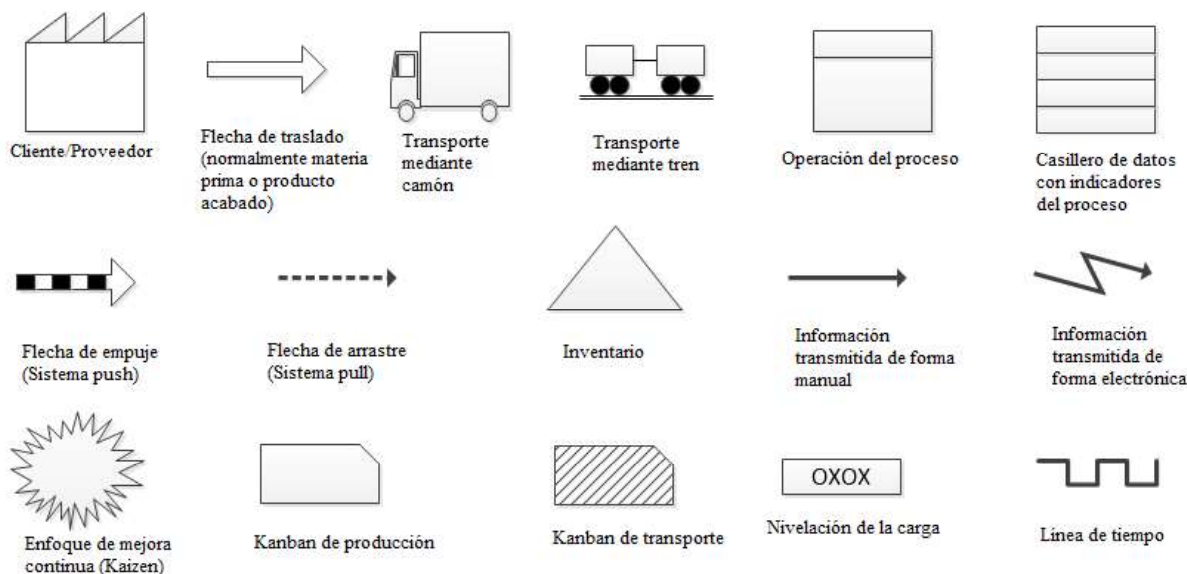


Figura 1.11. Ejemplo de algunos símbolos que se utilizan para el dibujo del VSM.^[21]

Un ejemplo de mapa actual sería el que se puede observar en la figura 1.12.

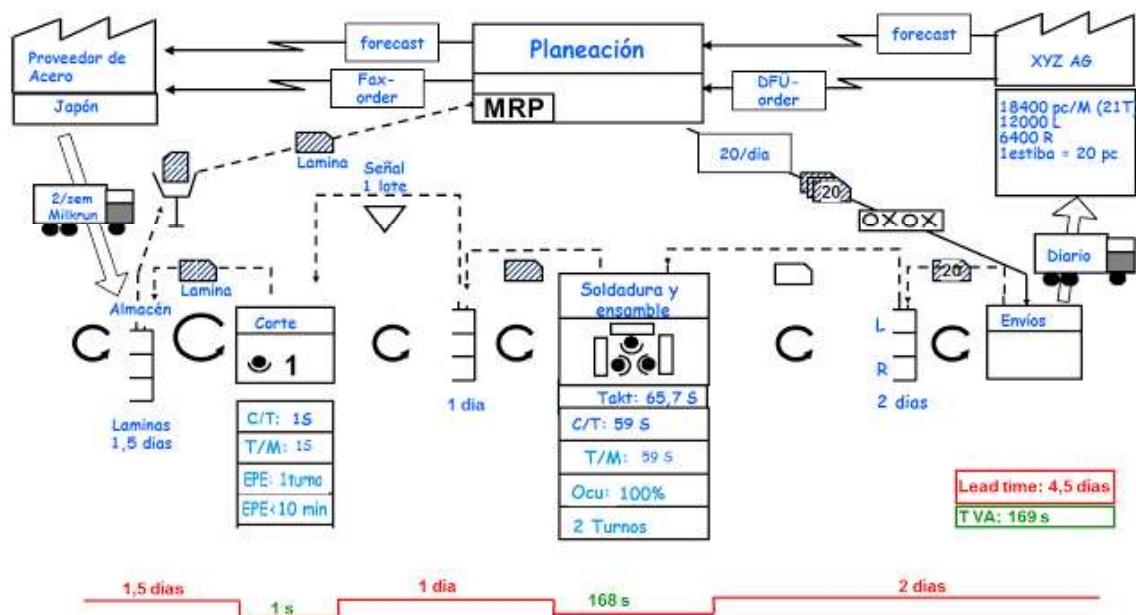


Figura 1.12. Ejemplo de un mapa de flujo de valor.^[21]

- **Fase 3:** Análisis del VSM actual.

Aquí se debe analizar el proceso buscando posibles mejoras. Para ello, primero se tienen que identificar las operaciones de valor añadido y diferenciarlas de las que no aportan valor a la organización. Una vez identificadas estas actividades, se tienen que determinar las acciones a implantar para mejorar esas operaciones que no aportan valor al proceso. Finalmente, se plasman las ineficiencias en el VSM actual.

- **Fase 4:** Realizar el VSM del proceso mejorado.

Una vez se ha analizado el mapa actual y se han identificado las principales fuentes de desperdicio y aportado mejoras con tal de evitarlos, se procede a dibujar el mapa futuro.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Alcance del proyecto

El proyecto, en un principio estaba enfocada para poner en práctica las dos últimas etapas de las 5S (control visual y disciplina) mediante la creación de estándares y documentos que permitan su mantenimiento; mejorar o crear procedimientos de mantenimiento preventivo de algunos equipos de la planta mediante los manuales de equipos, consultando al fabricante y con la experiencia de los usuarios; establecer indicadores (KPI's) de la calidad de los productos fabricados y el cumplimiento del plan analítico de la planta; desarrollar herramientas Jidoka para que el propio proceso de producción incluya el autocontrol de calidad; crear un tablero de control en el cual se incluyan los KPI's de la planta después de haber analizado con detalle cuáles son los KPI's más adecuados y por último estudiar el consumo energético de la planta y proponer medidas para reducirlo basándose en las técnicas del Lean Management. Debido al hecho de no poder realizar el trabajo presencialmente en la empresa, se ha tenido que reajustar el alcance.

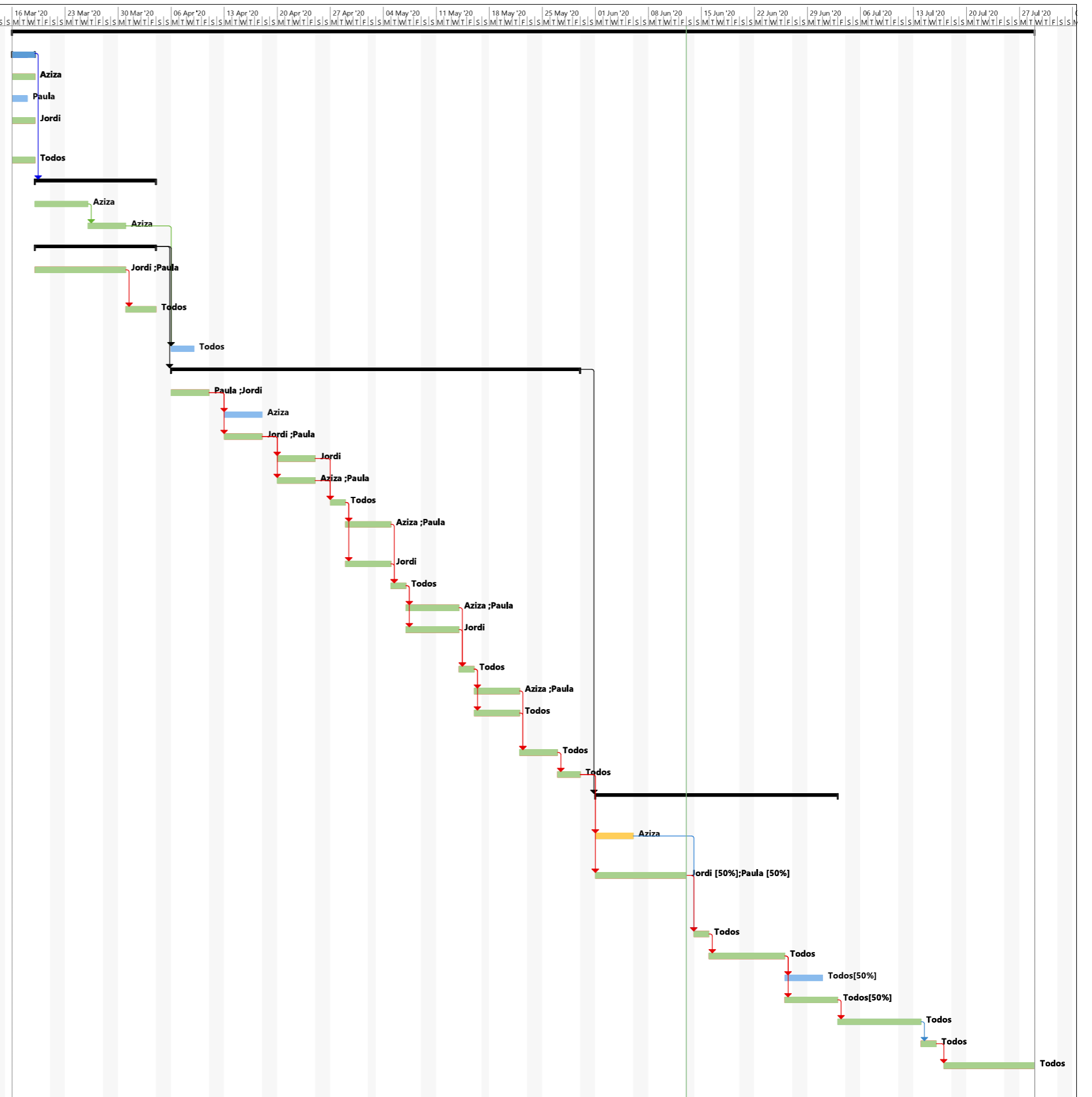
La redefinición del alcance consiste en los puntos que se nombran a continuación:

- Estudiar diferentes herramientas del *Lean Management* con el objetivo de familiarizarse con dicha metodología y poder aplicarla a lo largo del proyecto.
- Poner en práctica las 5S en algún espacio de la propia vivienda.
- Crear un estándar para la extrapolación de las 5S a cualquier entorno industrial.
- Automatizar y mejorar el circuito de vapor de la planta.
- Estudiar el consumo energético de la planta, en concreto el consumo de gas, proponiendo medidas para reducir el coste basándose en las técnicas del *Lean Management*. Se quiere conseguir un ahorro del 10% en el coste de energía reduciendo la potencia contratada.
- Diseñar una línea de recirculación de betún a un tanque de almacenaje con el objetivo de conseguir una buena homogenización del producto y asegurar que este entre dentro de las especificaciones establecidas.
- Aplicar la herramienta Jidoka en el diseño de partes de fabricación con el objetivo de que sean más dinámicos incluyendo los autocontroles de calidad, y que contengan toda la información necesaria para completar las diferentes etapas con éxito.
- Aplicar el VSM (*Value Stream Mapping*) sobre la operación de envasado de betún con la finalidad de reducir los desperdicios y crear un VSM mejorado.
- Evaluación económica de las diferentes mejoras implantadas.

2.2. Planificación Gantt

A continuación, se presenta la planificación que se ha hecho del proyecto en el diagrama Gantt.

ID	WBS	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Resource Initials	Predecessors
0	0		Lean Management	100 days	Mon 16/03/20	Tue 28/07/20		
1	1		Introducción	3 days	Mon 16/03/20	Wed 18/03/20		
2	1.1		Localización	3 days	Mon 16/03/20	Wed 18/03/20	A	
3	1.2		Meteorología y Clima	2 days	Mon 16/03/20	Tue 17/03/20	P	
4	1.3		Introducción al Lean Management	3 days	Mon 16/03/20	Wed 18/03/20	J	
5	1.4		Herramientas metodos 5S	3 days	Mon 16/03/20	Wed 18/03/20	T	
6	2		Etapa Preliminar	12 days	Thu 19/03/20	Fri 03/04/20		1
7	2.1		Alcance	5 days	Thu 19/03/20	Wed 25/03/20	A	
8	2.2		Planificación	3 days	Thu 26/03/20	Mon 30/03/20	A	7
9	2.3		Realizar 5S	12 days	Thu 19/03/20	Fri 03/04/20		
10	2.3.1		Extrapolación 5S a gran escala	8 days	Thu 19/03/20	Mon 30/03/20	J;P	
11	2.3.2		Extrapolación 5S a pequeña escala	4 days	Tue 31/03/20	Fri 03/04/20	T	10
12	3		Revisión Tareas (Feedback)	3 days	Mon 06/04/20	Wed 08/04/20	T	9;8
13	4		Proyectos de mejora	42 days	Mon 06/04/20	Fri 29/05/20		9
14	4.1		Descripción del proceso	5 days	Mon 06/04/20	Fri 10/04/20	P;J	
15	4.2		Circuito de vapor	5 days	Mon 13/04/20	Fri 17/04/20	A	14
16	4.3		Propuestas de mejora	5 days	Mon 13/04/20	Fri 17/04/20	J;P	14
17	4.4		BFD y PFD modificados	5 days	Mon 20/04/20	Fri 24/04/20	J	16
18	4.5		P&Id modificados	5 days	Mon 20/04/20	Fri 24/04/20	A;P	16
19	4.6		Revisión Tareas (Feedback)	2 days	Mon 27/04/20	Tue 28/04/20	T	18;17
20	4.7		Control del proceso modificado	5 days	Wed 29/04/20	Mon 04/05/20	A;P	19
21	4.8		Listados de equipos	5 days	Wed 29/04/20	Mon 04/05/20	J	19
22	4.9		Revisión Tareas (Feedback)	2 days	Tue 05/05/20	Wed 06/05/20	T	21;20
23	4.10		Recirculación del betún	5 days	Thu 07/05/20	Wed 13/05/20	A;P	22
24	4.11		Diseño de la recirculación del betún	5 days	Thu 07/05/20	Wed 13/05/20	J	22
25	4.12		Revisión Tareas (Feedback)	2 days	Thu 14/05/20	Fri 15/05/20	T	24;23
26	4.13		Mejora partes de fabricación	5 days	Sat 16/05/20	Thu 21/05/20	A;P	25
27	4.14		Hazoop y minilopa de la recirculación del betún	5 days	Sat 16/05/20	Thu 21/05/20	T	25
28	4.15		Value Stream Mapping (VSM)	3 days	Fri 22/05/20	Tue 26/05/20	T	27;26
29	4.16		Revisión Tareas (Feedback)	3 days	Wed 27/05/20	Fri 29/05/20	T	28
30	5		Estudio económico y de consumo energético de la planta	25 days	Mon 01/06/20	Thu 02/07/20		13
31	5.1		Descripción del consumo y equipo implicados	5 days	Mon 01/06/20	Fri 05/06/20	A	29
32	5.2		Medidas/Propuestas de ahorro energético y económico	10 days	Mon 01/06/20	Fri 12/06/20	J;P	29
33	5.3		Revisión Tareas (Feedback)	2 days	Sun 14/06/20	Mon 15/06/20	T	32;31
34	5.4		Evaluación económica	8 days	Tue 16/06/20	Thu 25/06/20	T	33
35	5.5		Conclusiones	3 days	Fri 26/06/20	Tue 30/06/20	T	34
36	5.6		Revisión Tareas (Feedback)	5 days	Fri 26/06/20	Thu 02/07/20	T	34
37	6		Preparación Informe final	7 days	Fri 03/07/20	Mon 13/07/20	T	36
38	7		Entrega final	2 days	Tue 14/07/20	Wed 15/07/20	T	37
39	8		Preparación Power Point y Presentación	8 days	Fri 17/07/20	Tue 28/07/20	T	38



Project: Lean Management
Date: Sat 13/06/20

Task	Group By Summary	External Tasks	Manual Task	Finish-only	Path Driving Predecessor Summary Task	Critical Split
Split	Rolled Up Task	External Milestone	Duration-only	Deadline	Path Predecessor Normal Task	Baseline
Milestone	Rolled Up Critical Task	Inactive Task	Manual Summary Rollup	Path Predecessor Milestone Task	Path Driving Predecessor Normal Task	Baseline Milestone
Summary	Rolled Up Milestone	Inactive Milestone	Manual Summary	Path Driving Predecessor Milestone Task	Critical Task	Baseline Summary
Project Summary	Rolled Up Progress	Inactive Summary	Start-only	Path Predecessor Summary Task	Critical	Progress

3. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DEL LEAN MANAGMENT

En el presente apartado se va a llevar a cabo la aplicación de algunas de las herramientas del *Lean Management* que se han explicado anteriormente.

3.1. Aplicación de las 5S

Con el objetivo de poner en práctica esta herramienta del *Lean Management* y debido a las circunstancias actuales que nos han impedido implantarlas en un espacio dentro de la empresa, se ha decidido aplicar la técnica 5S en zonas de nuestra propia vivienda. Se puede ver el desarrollo detallado en el anexo A.1. Posteriormente, se ha extrapolado a gran escala aplicando los conceptos especificados a pequeña escala.

3.1.1. Extrapolación 5S a escala industrial

Primero de todo se han implementado las 5'S a pequeña escala, cada uno de los miembros en una zona determinada de su habitación. Una vez visto cómo funciona esta metodología, se procede a dar ideas sobre cómo se podría aplicar a gran escala, es decir, cómo podríamos aplicar esta filosofía en una empresa, más detalladamente, en la factoría CCP Asfaltos Tarragona.

Implementación de la primera 'S'

La primera 'S' corresponde a un proceso de separar y clasificar, definiendo qué elementos son necesarios y cuáles no.

Primero de todo, se tendrá que estudiar qué elemento es de utilidad y de cuál se podría prescindir. Un criterio que se podría aplicar para dicha selección sería la frecuencia de uso.

Teniendo en cuenta que cada uno de los trabajadores controla más un tipo de áreas que otras, se podrían dar post-its a los empleados con tal de que identificaran los objetos que ellos creen útiles o no.

Se podría crear una tabla para ir anotando cuales son los equipos necesarios y cuales son innecesarios, y ver si todo el mundo está de acuerdo con lo que se ha estipulado.

Se podrían ir haciendo fotos del proceso para ver el cambio del 'antes' y el 'después' una vez eliminados los objetos innecesarios y darse cuenta de la importancia de aplicar este método.

Una vez aplicado, se tienen que gestionar los residuos generados y se puede plasmar en una tabla.

Implementación de la segunda 'S'

La segunda 'S' corresponde a ordenar los elementos que se han clasificado como útiles.

Primero de todo se tiene que establecer un criterio para poder ordenar los elementos según se haya decidido. Por ejemplo, se pueden ordenar según si se utilizan mucho (poniéndolos más cerca) o si se utilizan poco (poniéndolos más alejados).

Además, se tiene que definir un espacio para cada tipo de elemento y hacer que este espacio sea de acceso simple.

También se tiene que identificar tanto el lugar como el objeto que se ubicará en ese puesto determinado.

Crear un *layout* en el cual se plasme dónde se encuentra almacenado cada objeto.

Crear una tabla en la que consten todos los cambios que se ha realizado.

Se podrían ir haciendo fotos del proceso para ver el cambio del 'antes' y el 'después' una vez teniéndolo todo ordenado para darse cuenta de la importancia de aplicar este método.

Implementación de la tercera 'S'

La tercera 'S' corresponde a la limpieza del área en la que se aplica esta metodología. Todos los elementos se tienen que encontrar en condiciones óptimas de uso. Por ello tienen que estar bien pintados, libres de suciedad para que funcionen correctamente, libres de otros elementos innecesarios, y sólo tienen que estar destinados para la función que tienen.

Se puede hacer un previo análisis para ver el estado de la planta y anotar en una tabla las acciones que se tienen que realizar.

Implementación de la cuarta ‘S’

La cuarta ‘S’ corresponde a estandarizar, es decir, detectar situaciones irregulares o anómalas mediante normas sencillas y visibles para todos. Para ello, se utilizan medios como por ejemplo carteles, paneles u otros medios visuales con tal de crear estándares que hagan que el orden y la limpieza permanezcan.

Se puede crear una tabla con tal de anotar cada uno de los equipos, líneas de operación, objetos o elementos que han sido etiquetados.

Se pueden diseñar hojas de seguimiento para ver si se van cumpliendo todas las acciones implementadas anteriormente como por ejemplo la limpieza.

Implementación de la quinta ‘S’

La quinta ‘S’ corresponde a autodisciplina, es decir, el cumplimiento de las normas establecidas anteriormente. Para ello, se puede crear una *checklist* en la cual quede reflejado si todo el trabajo y la aplicación de los diferentes puntos comentados se siguen cumpliendo.

Para este punto, sobre todo se necesita la concienciación de todo el personal, para que hagan habituales todas estas prácticas, como por ejemplo tirar los desperdicios en el lugar correspondiente, ubicar los elementos en el sitio acordado, dejar limpias las áreas utilizadas, etc.

3.2. Aplicación del VSM en la operación de envasado de betún

En el presente apartado se explicará porque se ha decidido implementar el sistema VSM sobre la operación de enfriamiento y llenado de Big Bags y qué mejoras se han podido alcanzar con dicha metodología.

3.2.1. Introducción

El envasado de betún modificado se considera como envasado de productos especiales que tiene lugar en bolsas de polietileno de 1.000 kg de capacidad.

Existen dos modos habituales de envasar betún: una es utilizando bidones de 225 kg y la otra es en Big Bags que pueden envasar hasta los 1.000 kg tal y como se puede ver en la figura 3.1. El factor más importante y que rige el uso de un tipo u otro es la temperatura a la que está el betún en el momento de llenado.

Cuando se usan bidones, el factor temperatura no es importante ya que se puede llenar betún a cualquier temperatura sin ninguna consecuencia. Sin embargo, el uso de Big Bags sí que restringe un valor máximo de temperatura del betún. Este valor máximo de temperatura viene determinado por el tipo de material de las Big Bags. En caso de bolsas de polietileno esta temperatura está entre 105 y 110°C; si sobrepasa dicha temperatura, el material empezará a fundirse ocasionando pérdida de betún.

El uso de las Big Bags está enfocado para los clientes que por su situación geográfica están más lejos y les es más difícil el acceso al lugar de obra. Por lo tanto, la opción de transportar betún caliente en cisternas es inviable. La mejor opción en este caso es el transporte de betún en estado sólido en Big Bags. Después, el cliente ya se encarga de fundirlo de nuevo con el propio embalaje. El plástico del embalaje ya está diseñado para fundirse completamente e integrarse con el producto, por lo cual no hay ninguna alteración en las propiedades.



Figura 3.1. Big Bags en cajas de madera donde está envasado el betún.

3.2.2. Operación de enfriamiento y llenado actual

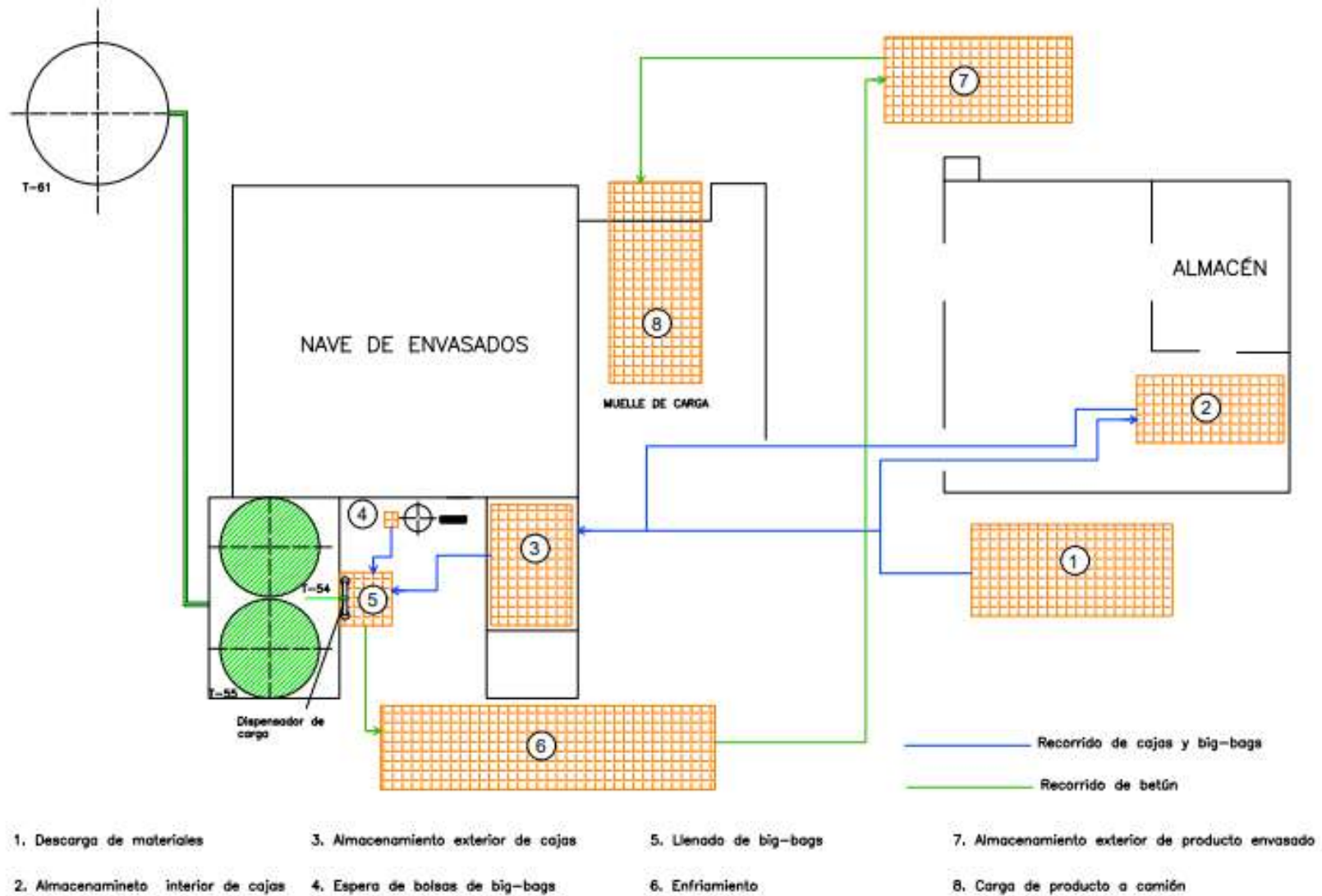
La operación de llenado y enfriamiento consiste en las siguientes fases:

1. Traspaso del betún del tanque T-04 al tanque T-61. Estos dos tanques tienen una capacidad de 2.000 Tn cada uno. Este paso supone bajar la temperatura del betún de los 150°C hasta los 120°C. El objetivo de este traspaso es conseguir un enfriamiento más rápido del betún al tener menos cantidad almacenada. El otro motivo es que no todos los clientes necesitan betún enfriado. En esta etapa se baja hasta los 120°C la temperatura del betún y no hasta los 100°C ya que al bombear el betún hacia los tanques 54 y 55 (que vienen a continuación), la temperatura del betún aumenta debido a la fricción.

El enfriamiento de betún se lleva a cabo en los tanques por medio de convección natural, es decir, se cierra el sistema de calefacción de aceite térmico del tanque y la temperatura del betún va bajando. La velocidad de enfriamiento del betún en el tanque T-61 es de 3°C por día aproximadamente.

2. Traspaso del betún del T-61 a tanques con agitadores y de menor capacidad (200 Tn) con el objetivo de bajar la temperatura más rápido. Esta fase es eventual.
3. Traspaso del betún del T-61 y/o los tanques con agitadores a los tanques T-54 y T-55 mediante la bomba P-09, lo cual aumenta la temperatura hasta los 125°C. Los tanques T-54 y T-55 tienen una capacidad de 120 Tn cada uno y una velocidad de enfriamiento de 6°C por día.
4. Enfriamiento del betún en los tanques T-54 y/o T-55 hasta los 100°C.
5. Preparación de las Big Bags y cajas necesarias para el llenado.
6. Llenado de las Big Bags con los 1.000 kg de betún cada una.
7. Enfriamiento de las Big Bags.

A continuación, se presenta el esquema de las diferentes fases de envasado del betún. Las líneas azules representan el movimiento de las Big Bags y de color verde el betún ya envasado.

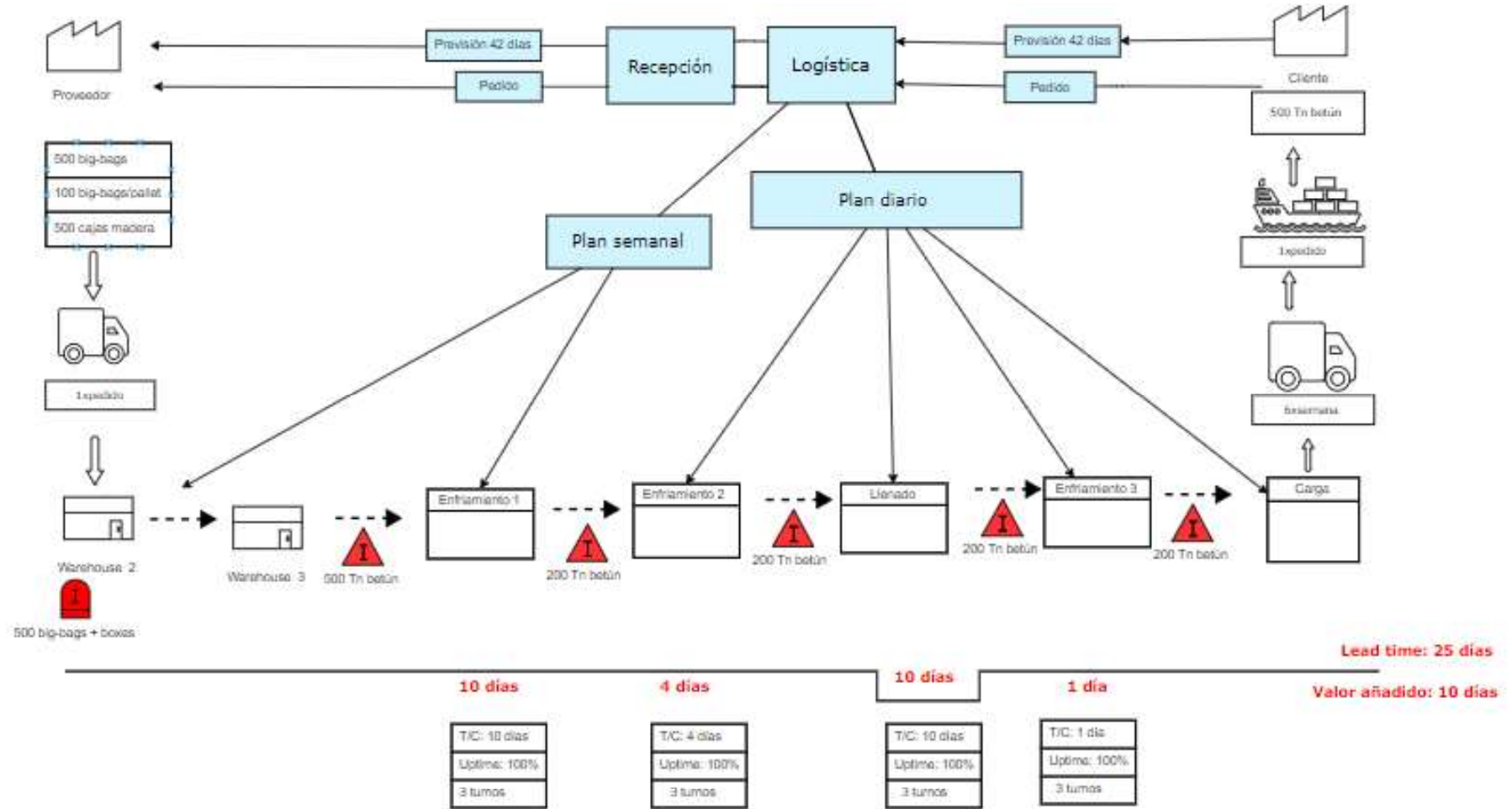


Una vez especificadas las diferentes fases de la operación de envasado, se han podido determinar los siguientes procesos:

- Enfriamiento 1 donde se baja la temperatura de 150 a 120 °C del betún en el tanque T-61.
- Enfriamiento 2 donde se baja la temperatura de 120 a 100°C del betún en los tanques 54 y T-55.
- Llenado de las Big Bags con betún desde los tanques T-54 y T-55.
- Enfriamiento 3 se refiere al proceso de dejar reposar las Big Bags recién llenadas.
- Carga consiste en proceso de cargar las Big Bags en el medio de transporte.

3.2.3. VSM del proceso actual

Basándose en las diferentes fases de la operación de enfriamiento y llenado del betún y la información obtenida sobre el proceso en general se ha podido establecer el mapa de flujo de valor que se muestra a continuación.



Como se puede ver en el VSM el *lead time* es de 25 días mientras que el tiempo de valor añadido es de 10 días, lo cual representa solamente el 40 % de todo el tiempo que se dedica a esta operación.

Una vez analizado el VSM actual se ha podido determinar las etapas donde se puede mejorar y estos se citan a continuación:

- En la etapa de enfriamiento 1 se gasta el 40% de tiempo total disponible. Específicamente, se tarda 10 días para bajar los 30°C con una velocidad de 3°C por día.
- También se ha visto que, debido a la localización de la estación de llenado, esta representa un tiempo de valor no añadido de más. El llenado de los tanques se hace a partir de los tanques 55 y 54, lo cual implica pasar por estos para realizar dicha operación.
- Los tanques 54 y 55, entre los dos, solamente tienen una capacidad de 240 Tn y además supone más tiempo de espera para el enfriamiento.

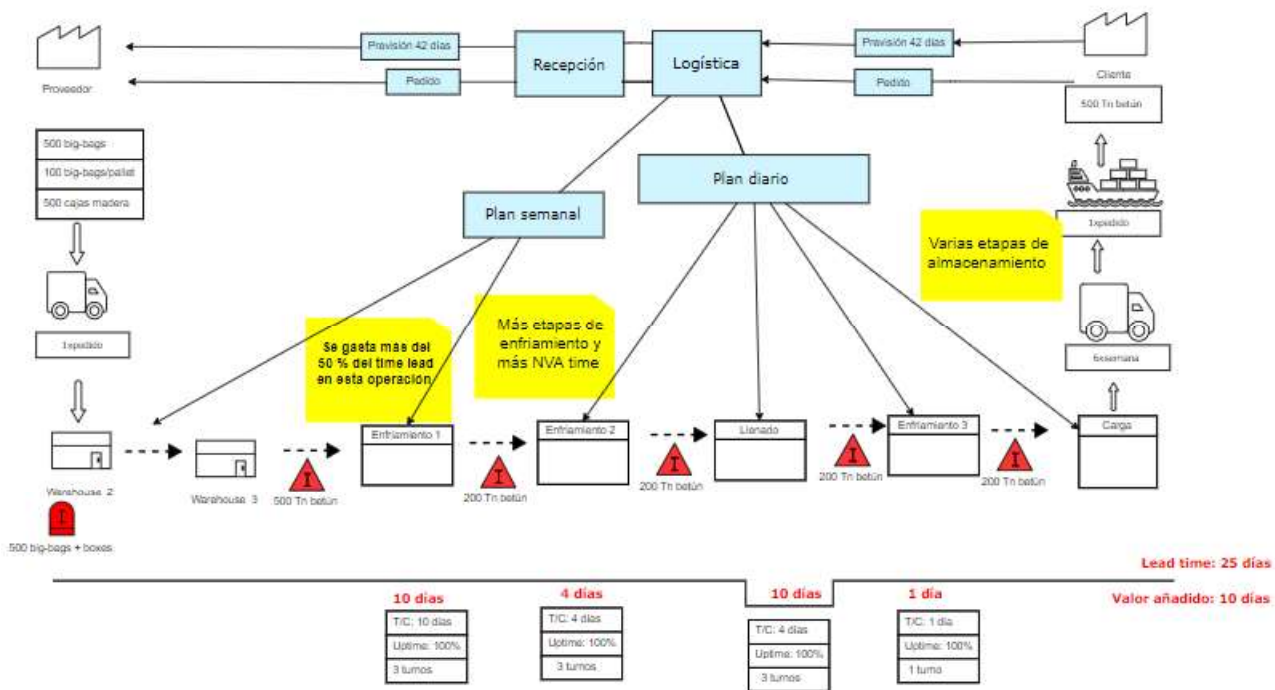


Figura 3.2. Esquema VSM actual con anotaciones de las etapas donde hay mayor desperdicio.

3.2.4. VSM mejorado

En base a los desperdicios que se han encontrado, se ha planteado varias propuestas de mejora:

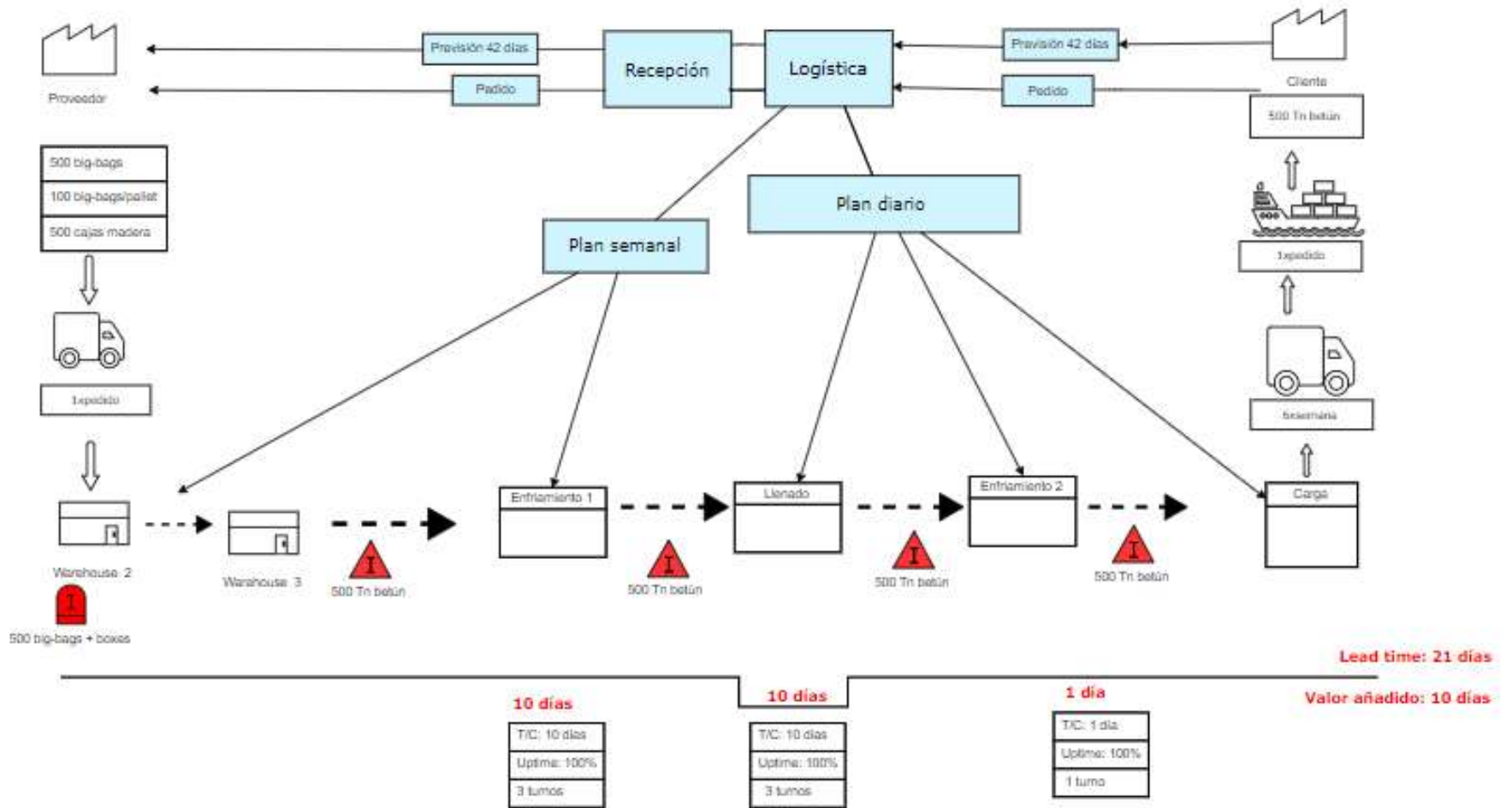
1. Implantar un sistema de refrigeración para el T-61 para rebajar lo máximo posible los 12 días de enfriamiento. Para ello se puede aprovechar el condensado del sistema de vapor ya que este suele estar a unos 90°C.
2. Reubicar el sistema de llenado y/o almacenes para minimizar tanto el nombre de almacenes como el tiempo y operarios que se dedican a esta operación.
3. En caso de que sea posible, optimizar el volumen de los tanques para que haya un enfriamiento más rápido en función de la cantidad de betún.

La primera propuesta que consiste en añadir un intercambiador de calor resulta inviable y de una inversión injustificable. El tanque T-61 se usa eventualmente debido a que este tipo de demandas es poco habitual en la empresa (lo máximo que se ha podido expedir en un año son

2.000 Tn de betún modificado envasado en Big Bags), por ello se ve como injustificable instalar un equipo de refrigeración para dicho tanque.

En consecuencia, se procede a proponer la segunda opción que consiste en cambiar la localización de la estación de llenado y con ello evitar el paso por los tanques 55 y 54 dejando estos dos libres para otros procesos que se llevan a cabo en la planta.

Las mejoras aplicadas resultan en *lead time* de 21 días (4 días menos que en el VSM actual). A continuación, se puede ver el VSM mejorado:



3.3. Aplicación del Jidoka en el parte de fabricación de betún modificado ^[27]

En el siguiente apartado se procede a explicar cómo se realizó el parte de fabricación original, la problemática encontrada en estos partes actuales, las propuestas de mejora que se han decidido implementar y, por último, el parte de fabricación modificado.

3.3.1. Parte de fabricación actual

A la hora de tomar muestras cuando se está fabricando un lote de betún modificado, se registran todos los datos en un parte de fabricación. En él, aparecen todos los datos necesarios en la fabricación tales como el producto final. Hay diferentes tipos de betunes modificados, los cuales están categorizados dependiendo del tipo de gama en la que se encuentran. A continuación, se procede a detallarlos.

- **Indusfalt.** La gama indusfalt incluye productos obtenidos a partir de crudos de petróleo por destilación y otros métodos de refinación. Estos productos son utilizados como base para la fabricación de emulsiones y betún modificados. En esta categoría se puede encontrar el betún 70/40, 85/20, 85/40 y 100/15.
- **Elaster.** Esta gama incluye todos los betunes modificados con polímeros de PROAS-Betunes CEPSA. Estos productos son diseñados para obtener todo tipo de pavimentos de alta calidad. En esta categoría se encuentran los betunes tipo Newplast, BM-3C, Elaster masillas, RAF AV, Elaster concentrado aditivado y Elaster Canarias.
- **Flexodur.** Se trata de la gama de betunes modificados con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso. En esta gama se incluyen tanto los betunes modificados con caucho (BMC) como los mejorados con caucho (BC). Los productos que se encuentran en esta categoría son BC 35/50, BC 50/70, BMC-2 Alt 1, BMC-3B y BMC-3C.

Otro tipo de dato que se encuentra en estos partes es el tipo de betún (o betunes) que se utiliza en la fabricación y el cual se alimenta al reactor. Este tipo de betún se encuentra en la gama Cepsasfalt, la cual se detalla a continuación.

- **Cepsasfalt.** Es la gama de betunes asfálticos de PROAS. Se obtienen en las Refinerías del Grupo CEPSA por destilación directa del crudo de petróleo. En esta categoría se encuentran los betunes que van del tipo 15/25 al 160/220. En este caso: 15/25, 35/50, 50/70, 70/100 y 160/220.

Una vez añadido el tipo de betún (o betunes) utilizado en la fabricación del betún modificado y añadida la cantidad, la hora de inicio y la temperatura del reactor, se procede a registrar el tipo de materia prima (o materias primas) que caracteriza esta fabricación. Estas materias primas pueden tratarse de diferentes tipos de polímeros, polvo fino de caucho, azufre, ácido polifosfórico, sasobit, Cepsaexotil, TPS 32 o Ascote.

Tal y como se ha procedido con los betunes, se registra la cantidad de materia prima utilizada, la hora de inicio y la temperatura del reactor.

También se encuentran unos apartados opcionales en caso de haber correcciones y tener que añadir más materia prima o más betún, y un apartado de dilución en el cual, en caso de necesitarlo, se detalla el tipo de betún utilizado, la cantidad, la hora y el operario que se encarga de la fabricación de ese lote.

Por último, en caso de que el producto final se almacene en un tanque, se ha de detallar el tanque de destino, la hora de finalización, la cantidad inicial, final, y la temperatura de la mezcla. En caso de que el producto final se cargue directamente a una

cisterna, se tendrá que detallar la tractora y cisterna, el nombre del operario responsable, la fecha y la hora.

A medida que se vayan obteniendo resultados de cada una de las muestras, se irán anotando en cada una de las casillas de resultados que se encuentran en cada uno de los apartados. Dependiendo del tipo de ensayo del que se trate (penetración rápida o punto rápido), se tendrán que respetar los límites superiores e inferiores que varían según el tipo de producto y tipo de control que se utilice (betún base o ensayos rápidos).

Por lo que respecta al parte de fabricación original, se rellenan de forma manual y no quedan archivados digitalmente. No se reflejan los números de registro de muestras del programa de laboratorio y eso impide seguir la trazabilidad del proceso de control de calidad del producto fabricado. Además, no queda claro en todos los procesos de fabricación qué muestras hay que sacar y en qué límites tienen que encontrarse.

A continuación, se puede observar el parte de fabricación original junto a las tablas 3.1 y 3.2 en las que hay que buscar constantemente el valor de los límites de los productos, y las materias primas y su unidad característica junto con la nota informativa.

		Planta CCP Asfaltos Tarragona				
Parte Fabricación Betunes Modificados						
Producto	Alternativa	LOTE	FECHA	Cantidad	HORA INICIO	OPERADOR
70/40						
LLENADO REACTOR						
Betún		Cantidad		Unidad kg	Hora inicio	Tª reactor
Betún		Cantidad		Unidad kg	Hora inicio	Tª reactor
Notas:	Se analizará la muestra del betún base siempre que haya un cambio de betún base respecto a la fabricación anterior.					
Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
DOSIFICACIÓN MMPP						
MMPP		Cantidad		Unidad	Hora inicio	Tª reactor
Notas:						
MMPP		Cantidad		Unidad	Hora inicio	Tª reactor
Notas:						
Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
CORRECCIONES						
HORA		MMPP		CANTIDAD		
Notas:						
Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
Dilución						
BETÚN		CANTIDAD		Hora inicio	Operario	
Tanque de destino						
Tanque destino			Hora fin	Cantidad inicial	final (t)	Tª Mezcla
Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
Carga directa de cisterna						
Tractora	Cisterna	Operario	Fecha	Hora		
OBSERVACIONES						

Tabla 3.1. Tabla de los límites de los productos.

Gama	Producto	Labware Tipo de control	NIE-007		NIE-0018	
			Penetración rápida	+/-	Punto rápido	+/-
indusfalt	70/40	betún base	78	5	-	mm
indusfalt	70/40	ensayos rápidos	40	5	70	5 °C
indusfalt	85/20	betún base	20	5	-	mm
indusfalt	85/20	ensayos rápidos	20	5	85	5 °C
indusfalt	85/40	betún base	83	5	-	mm
indusfalt	85/40	ensayos rápidos	40	5	85	5 °C
indusfalt	100/15	betún base	20	5	-	mm
indusfalt	100/15	ensayos rápidos	15	5	100	5 °C
Elaster	Newplast	betún base	20	5	-	mm
Elaster	Newplast	ensayos rápidos	-		71	≥ °C
Elaster	BM-3C	betún base	78	5	-	mm
Elaster	BM-3C	ensayos rápidos	-		66	≥ °C
Elaster	Elaster masillas	betún base	125	≥	-	mm
Elaster	Elaster masillas	ensayos rápidos	95	10	-	mm
Elaster	RAF AV	betún base	125	≥	-	mm
Elaster	RAF AV	ensayos rápidos	-		76	≥ °C
Elaster	Elaster concentrado Aditivado	betún base	78	5	-	mm
Elaster	Elaster concentrado Aditivado	ensayos rápidos	-		79	≥ °C
Elaster	Elaster Canarias	betún base	78	5	-	mm
Elaster	Elaster Canarias	ensayos rápidos	-		66	≥ °C
Flexodur	BC 35/50	betún base	60	5	-	mm
Flexodur	BC 35/50	ensayos rápidos	-		59	≥ °C
Flexodur	BC 50/70	betún base	78	5	-	mm
Flexodur	BC 50/70	ensayos rápidos	-		54	≥ °C
Flexodur	Flexodur BMC-2 Alt 1	betún base	78	5	-	mm
Flexodur	Flexodur BMC-2 Alt 1	ensayos rápidos	-		66	≥ °C
Flexodur	Flexodur BMC-3B	betún base	78	5	-	mm
Flexodur	Flexodur BMC-3B	ensayos rápidos	-		60	≥ °C
Flexodur	Flexodur BMC-3C	betún base	90	5	-	mm
Flexodur	Flexodur BMC-3C	ensayos rápidos	-		66	≥ °C

Tabla 3.2. Tabla de materias primas junto su unidad y notas respectivas.

Materia prima	Unidad	Notas
Polímero 01	kg	-
Pol. 01 regenerado	kg	-
Polímero 18	kg	-
Pol. 18 regenerado	kg	-
Polímero 1205	pastillas	"Pastillas de Méjico 34 kg/pastillas, pastillas España 35kg/pastillas"
Polvo fino de caucho 0,6	kg	-
Azufre	kg	"Realizar comprobación de entrada de azufre"
Ac. Polifosfórico (Innovalt)	l	"Densidad 2 kg/l. Si la receta pide 100 kg hay que meter 50 l"
Sasobit	kg	-
Cepsaextoil 90	l	"Densidad 0,989 kg/l. Si la receta pide 800 kg hay que meter 790 l"
TPS 32	l	"Densidad 1 kg/l si la receta pide 100 kg hay que meter 100 l"
Ascote	l	"Densidad 1 kg/l si la receta pide 100 kg hay que meter 100 l"

3.3.2. Propuestas de mejora

Por lo explicado anteriormente y con tal de mejorar el parte de fabricación para que haya una mejora en la trazabilidad de este, se clarifique qué muestras hay que sacar y qué límites hay por cada producto, se han propuesto una serie de medidas.

- Se ha decidido hacerlo en formato electrónico. Con el formato actual, al tener que rellenarlo a mano y archivarlo en una carpeta, se perdía la trazabilidad de los documentos. Con el formato modificado, se cumplimentará y se registrará digitalmente.
- Se ha decidido utilizar Excel como programa de base debido a la gran cantidad de herramientas que ofrece.
- Se ha decidido añadir un desplegable en cada uno de los campos donde se tenga que escoger el tipo de producto, el tipo de betún, el tipo de materia prima que caracteriza la fabricación, o el tanque de destino.
- Se ha decidido vincular las casillas que hacen referencia al tipo de producto fabricado con el tipo de ensayo y los límites superiores o inferiores respectivos. De esta manera, aparecerá automáticamente al añadir el producto y se clarificará qué muestras hay que sacar y en qué límite se tienen que encontrar.
- Se ha vinculado el tipo de materia prima con la unidad que le caracteriza (kg, lo pastillas) y una nota de aclaración que va asociado a cada una de ellas. De esta manera, aparecerá automáticamente al añadir la materia prima.
- Se ha decidido aplicar la opción de poder añadir más o menos filas dependiendo de si se utilizan varios tipos de betunes o de materias primas.
- Se ha añadido una casilla en cada uno de los apartados para rellenar con el número de registro del que se trata. Así se verán reflejados los números de registro y se facilitará la trazabilidad de los documentos.
- Se ha decidido poner opcional el apartado de correcciones y dilución ya que es un apartado que no se utiliza en todas las fabricaciones de betunes modificados, solo cuando es necesario. En caso de que se necesite, se añadirá automáticamente la fila que hace referencia a cada uno de estos apartados.
- Se han bloqueado las celdas que no necesiten modificación para que no puedan ser editadas erróneamente.

- Se ha añadido una opción para crear otro parte de fabricación desde cero en caso de necesitarlo.

3.3.3. Parte de fabricación modificado

A continuación, se puede encontrar el parte modificado en el cual se han añadido todas las propuestas de mejora previamente especificadas.

Las casillas con color naranja tienen una lista desplegable de opciones a escoger; a la izquierda del parte se puede observar el símbolo ‘+’ el cual se utiliza para añadir más betún o materias primas cuando sea necesario; las casillas de color rojo se vuelven verdes si el resultado está dentro del rango y se quedan en color rojo si se encuentran fuera; y por último, la opción de ‘Finalizar’ sirve para bloquear el parte rellenado y volver a la página de Inicio. Se tiene que remarcar el hecho de que, al elegir un producto determinado, los valores límite de los diferentes tipos de ensayos aparecen automáticamente. Asimismo, al añadir el tipo de materia prima, la unidad y la nota correspondientes aparecen automáticamente también.



Planta CCP Asfaltos Tarragona

Parte Fabricación Betunes Modificados

Producto	Alternativa	LOTE	FECHA	Cantidad	Hora inicio	OPERADOR
70/40						

LLENADO REACTOR

Betún	70/100	Cantidad		Unidad	Hora inicio	Tª reactor

Notas: Se analizará la muestra del betún base siempre que haya un cambio de betún base respecto a la fabricación anterior.

Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
			Betún base			
			Penetración rápida	83	73	

DOSIFICACION MMPP

MMPP	Ascote	Cantidad		Unidad	Hora inicio	Tª reactor
				l		

Notas: densidad 1 kg/l si la receta pide 100 kg hay que meter 100 l

Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
			Ensayos rápidos			
			Penetración rápida	45	35	
			Punto rápido	75	65	

CORRECCIONES

HORA		MMPP	Azufre	CANTIDAD		kg

Notas: Realizar comprobación de entrada de azufre

Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
			Ensayos rápidos			
			Penetración rápida	45	35	
			Punto rápido	75	65	

Dilución

BETÚN	70/100	CANTIDAD		Hora inicio	Operario	

Tanque de destino

Tanque destino	R6	Hora fin	Cantidad inicial	Final (t)	Tª Mezcla

Nº registro	Hora	Operario	Ensayos	LÍMITE superior	LÍMITE inferior	Resultados
			Penetración rápida	45	35	
			Punto rápido	75	65	

Carga directa de cisterna

Tractora	Cisterna	Operario	Fecha	Hora	

OBSERVACIONES

--	--	--	--	--	--	--

FINALIZAR

4. PROYECTOS DE MEJORA

A continuación, se explicarán todos los proyectos de mejora que se han llevado a cabo sobre diferentes procesos de la planta.

4.1. Circuito de vapor

El proceso de generación de vapor consiste en una caldera pirotubular de alta presión que trabaja a 5 bar. La caldera B-XX1 se alimenta con agua entre 74 y 88°C. El agua que se almacena en el depósito de condensados V-X10 proviene del tanque T-103 y de la corriente de condensados. Esta caldera funciona a partir de gas natural y, debido a la combustión, se generan gases que son enviados a la atmósfera.

El tanque T-103 se alimenta de agua de osmosis y del agua que se retorna del depósito de condensados. Además, para evitar incrustaciones a lo largo de las tuberías y en la caldera, se le añade a esta agua un aditivo industrial del depósito V-X11 a partir de la bomba peristáltica P-X10. El tanque T-103 también dispone de una purga al fondo para los casos en que se tenga que vaciar o disminuir el nivel. Para enviar agua desde el tanque hasta el depósito V-X10 se dispone de la bomba centrífuga (P-X12).

La corriente de agua proveniente del proceso de osmosis, en ocasiones excepcionales se le añade agua de red.

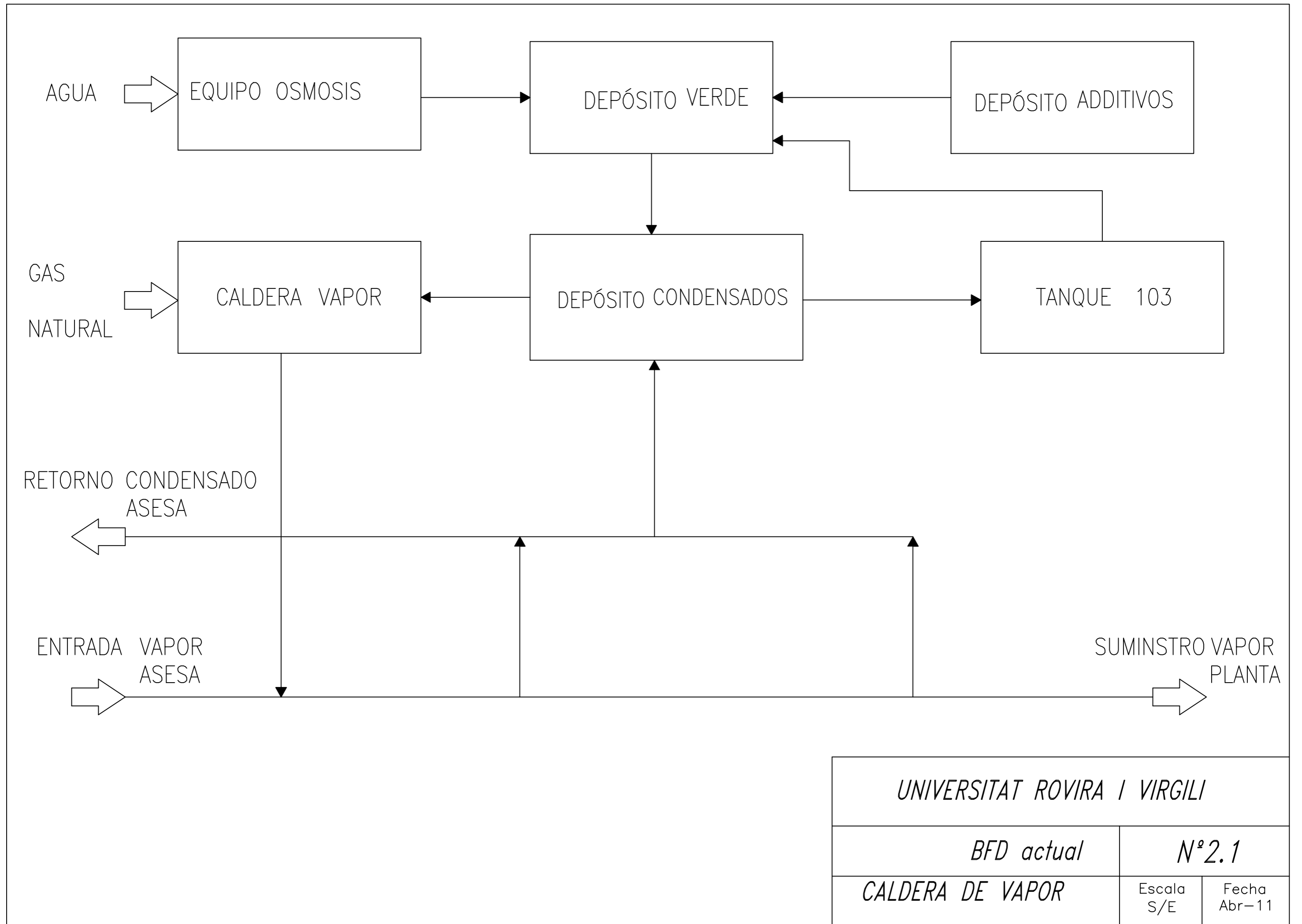
4.1.1. BFD actual

A continuación, se presenta el diagrama de bloques (*Block Flow Diagram*) del proceso que se va a estudiar.

Tal y como se puede ver en el BFD, el depósito verde (T-X40) es donde se almacena agua que llega del proceso de osmosis y la que se retorna del tanque T-103. Este depósito tiene una capacidad de 5 m³ mientras que el T-103 es de 50 m³. El depósito verde está abierto a la atmósfera, lo cual hace muy probable la contaminación el agua osmotizada y la de retorno; además tiene una capacidad de almacenaje muy pequeña.

En el diagrama se refleja el proceso de generación de vapor compuesto por la caldera, el equipo de osmosis y los tanques de almacenamiento de agua de alimentación y de retorno. Además, se refleja el sistema de retorno de los condensados y el suministro de vapor a la planta. Como se ha comentado anteriormente, parte del vapor utilizado en la planta proviene de ASESÁ, y por ello cuando se está operando con este vapor, la línea de retorno de agua al depósito de condensados se ve bloqueada ya que los condensados se han de devolver a ASESÁ.

La problemática que hay con este sistema, es que todas las válvulas del sistema de retorno de condensados y suministro de vapor son manuales. Además, no hay ningún sistema de retención en cuanto no se está operando con la caldera de vapor.



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

BFD actual

Nº 2.1

CALDERA DE VAPOR

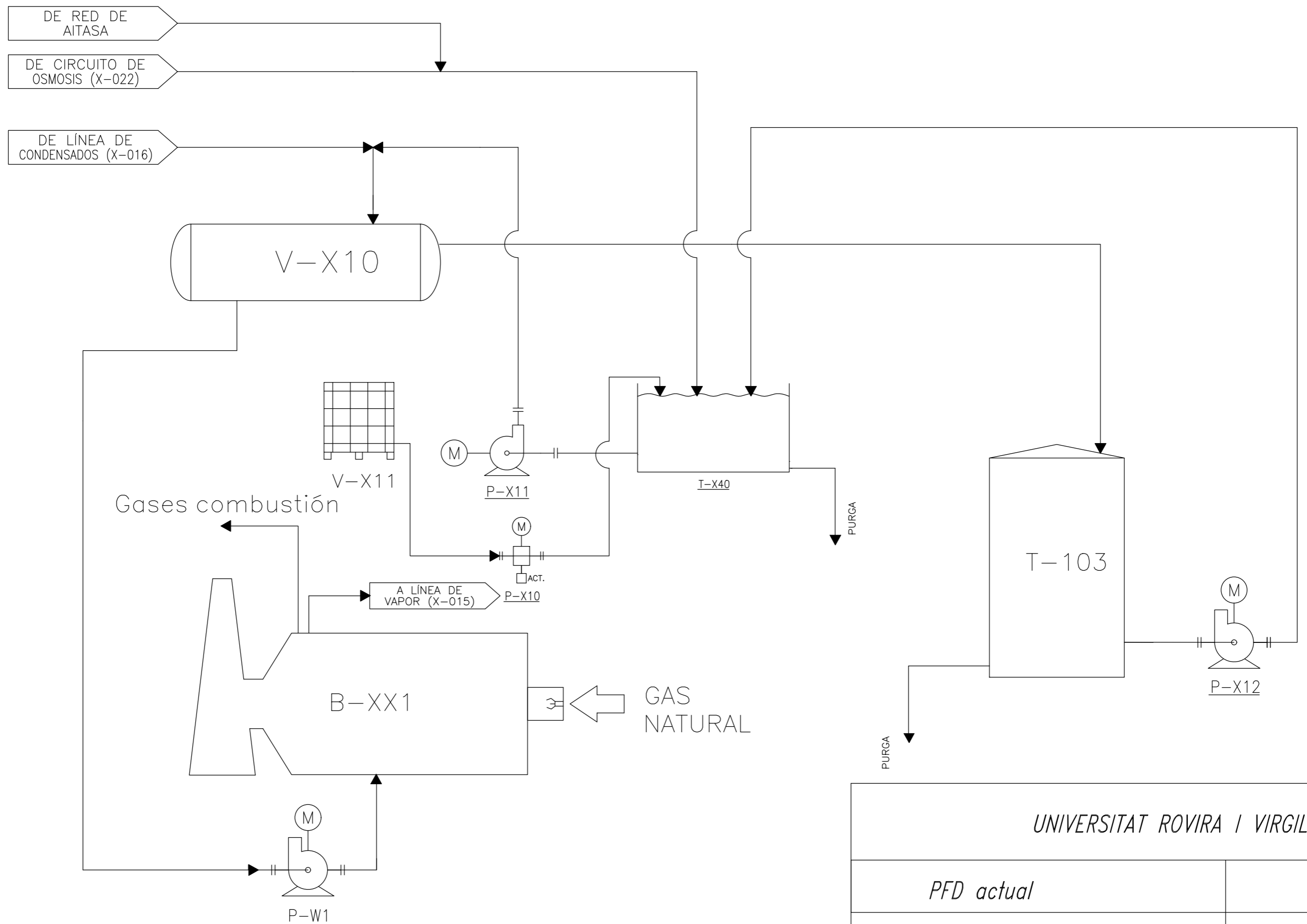
Escala
S/E

Fecha
Abr-11

4.1.2. PFD actual

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso (*Process Flow Diagram*) actual.

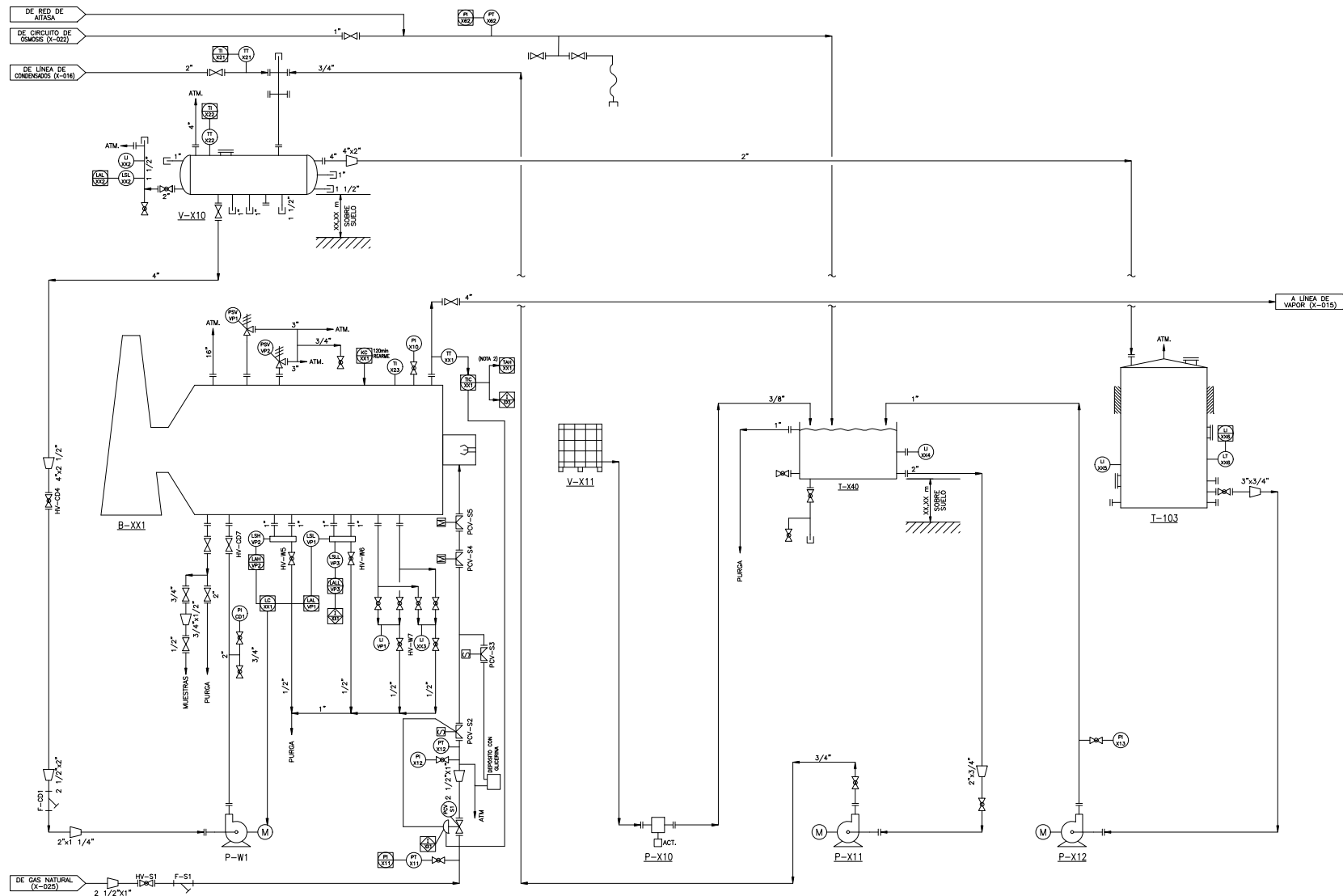
V-X10 DEPÓSITO DE CONDENSADO B-XX1 CALDERA VAPOR 1 V-X11 GRG DESENGRASANTE T-X40 TANQUE PULMÓN AGUA CALDERA T-103 TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA CALDERA
P-X11 BOMBA AGUA CALDERIN P-W1 BOMBA AGUA CALDERA VAPOR 1 P-X10 BOMBA ADITIVO AGUA CALDERA P-X12 BOMBA AGUA PULMÓN



<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>		
<i>PFD actual</i>		<i>Nº 3.1</i>
<i>Caldera de vapor</i>		Escala S/E
		Fecha Abr-11

4.1.3. P&ID's actuales

A continuación, se presentan los diagramas de tuberías e instrumentación (*Piping and Instrumentation Diagram*) del proceso de generación de vapor (P&ID X-014), circuito de vapor (P&ID X-015) y circuito de condensados (P&ID X-016), antes de ser modificados.



NOTAS GENERALES

- 1.- F/S INDICA FUERA DE SERVICIO
- 2.- ALARMA ACÓSTICA QUE SALTA CUANDO SE SUPERA EL LIMITE DE OPERACIÓN SEGURA IGUAL A 200°C.

CÓDIGO DE SERVICIOS

W	AGUA
CD	CONDENSADO DE VAPOR
S	SERVICIOS

LISTA DE EQUIPOS

V-X10	DEPÓSITO DE CONDENSADOS
B-XX1	CALDERA VAPOR 1
V-X11	GRG DESENGRASANTE
T-X40	TANQUE PULMÓN AGUA CALDERA
T-103	TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA CALDERA
P-W1	BOMBA AGUA CALDERA VAPOR 1
P-X10	BOMBA ADITIVO AGUA CALDERA
P-X11	BOMBA AGUA DEPÓSITO
P-X12	BOMBA AGUA PULMÓN

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

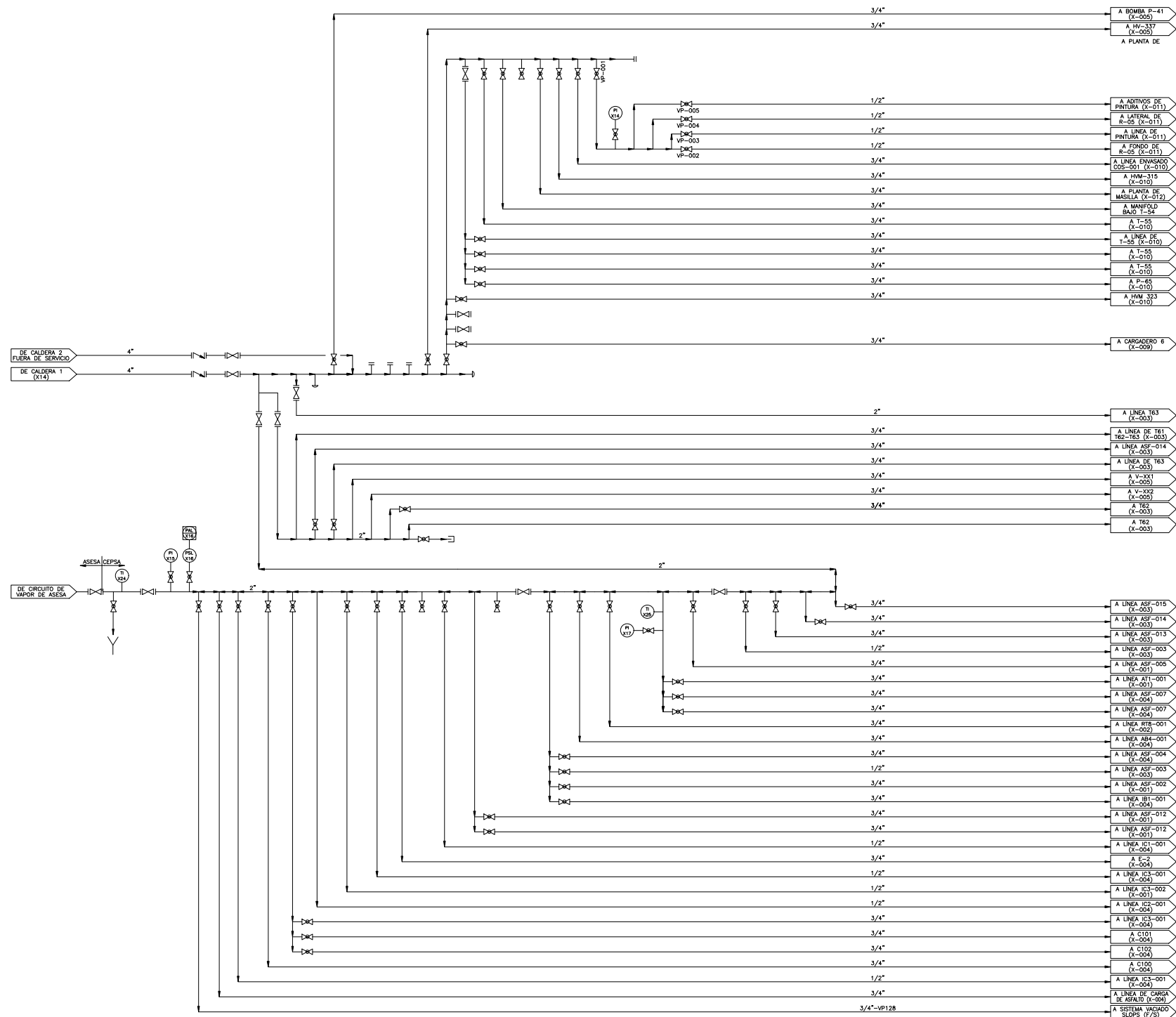
P&ID X-014

Nº 4.1

caldera de vapor

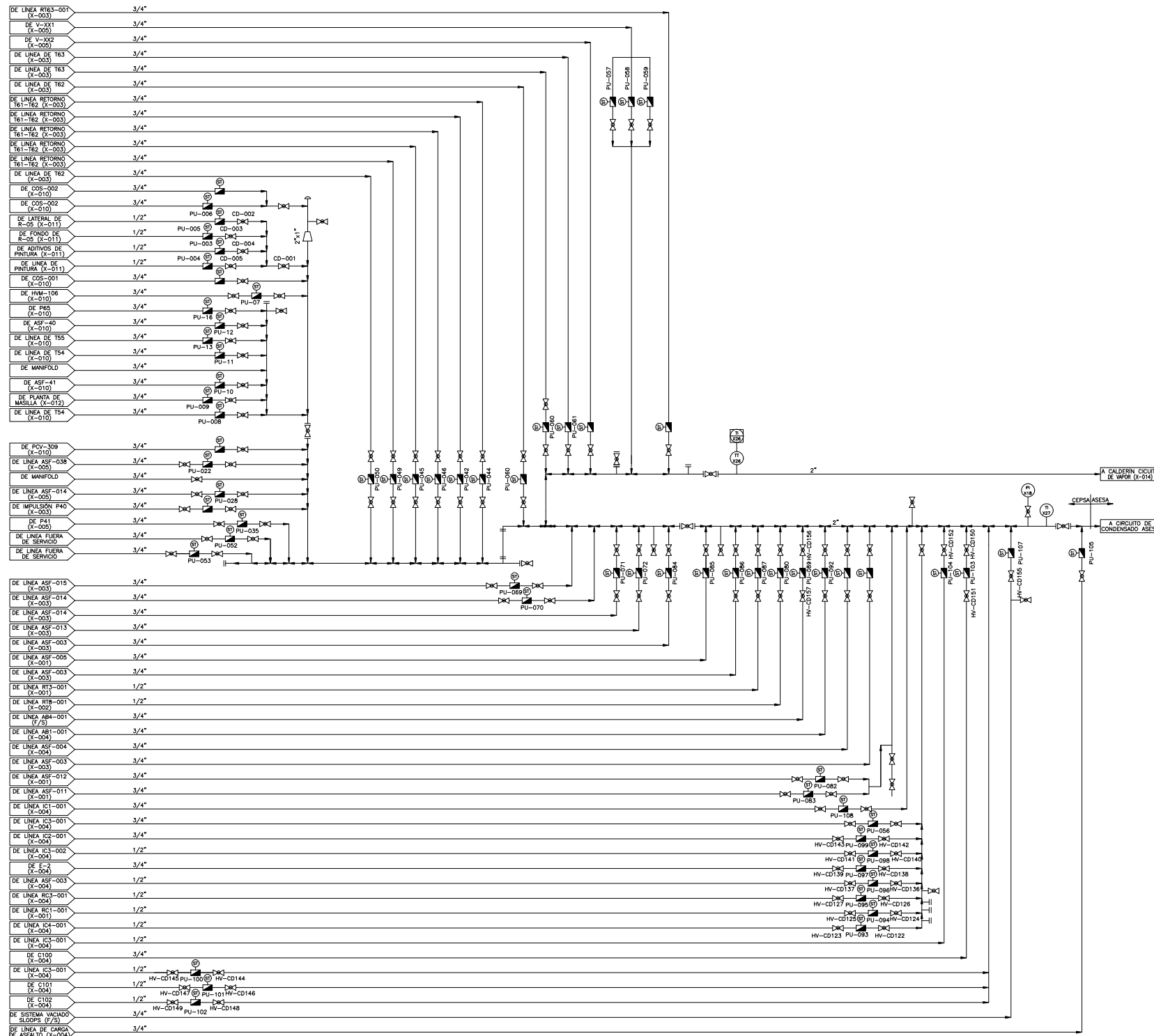
Escala
S/E

Fecha
Abr-11



- 3/4" A BOMBA P-41 (X-005)
- 3/4" A HV-337 (X-005)
- A PLANTA DE
- 1/2" A ADITIVOS DE PINTURA (X-011)
- 1/2" A LATERAL DE R-05 (X-011)
- 1/2" A LINEA DE PINTURA (X-011)
- 3/4" A FONDO DE R-05 (X-011)
- 3/4" A LINEA ENVASADO 205-001 (X-010)
- 3/4" A HW-315 (X-010)
- 3/4" A PLANTA DE MASILLA (X-012)
- 3/4" A MANIFOLD BAO T-54
- 3/4" A T-55 (X-010)
- 3/4" A LINEA DE T-55 (X-010)
- 3/4" A T-55 (X-010)
- 3/4" A T-55 (X-010)
- 3/4" A P-46 (X-010)
- 3/4" A HW 323 (X-010)
- 3/4" A GARGADERO 6 (X-009)
- 2" A LINEA T63 (X-003)
- 3/4" A LINEA DE T61 T62-T63 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-014 (X-003)
- 3/4" A LINEA DE T63 (X-003)
- 3/4" A V-X31 (X-003)
- 3/4" A V-X32 (X-003)
- 3/4" A T62 (X-003)
- 3/4" A T62 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-015 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-014 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-013 (X-003)
- 1/2" A LINEA ASF-003 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-005 (X-001)
- 3/4" A LINEA AT1-001 (X-001)
- 3/4" A LINEA ASF-007 (X-004)
- 3/4" A LINEA ASF-007 (X-004)
- 3/4" A LINEA RTB-001 (X-002)
- 3/4" A LINEA AB4-001 (X-004)
- 3/4" A LINEA ASF-004 (X-004)
- 1/2" A LINEA ASF-003 (X-003)
- 3/4" A LINEA ASF-002 (X-001)
- 3/4" A LINEA IP1-001 (X-004)
- 3/4" A LINEA ASF-012 (X-001)
- 3/4" A LINEA ASF-012 (X-001)
- 1/2" A LINEA IC3-001 (X-004)
- 1/2" A LINEA IC3-002 (X-001)
- 1/2" A LINEA IC2-001 (X-004)
- 3/4" A LINEA IC3-001 (X-004)
- 3/4" A C101 (X-004)
- 3/4" A C102 (X-004)
- 3/4" A C100 (X-004)
- 1/2" A LINEA IC3-001 (X-004)
- 3/4" A LINEA DE CARGA DE ESTADO (X-004)
- 3/4" A SISTEMA VACUADO SLOPS (F/S)

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
P&ID X-015	Nº5.1	
circuito de vapor	Escala S/E	Fecha Abr-11



<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>		
<i>P&ID X-016</i>		<i>Nº6.1</i>
<i>circuito de condensado</i>	Escala S/E	Fecha Abr-11

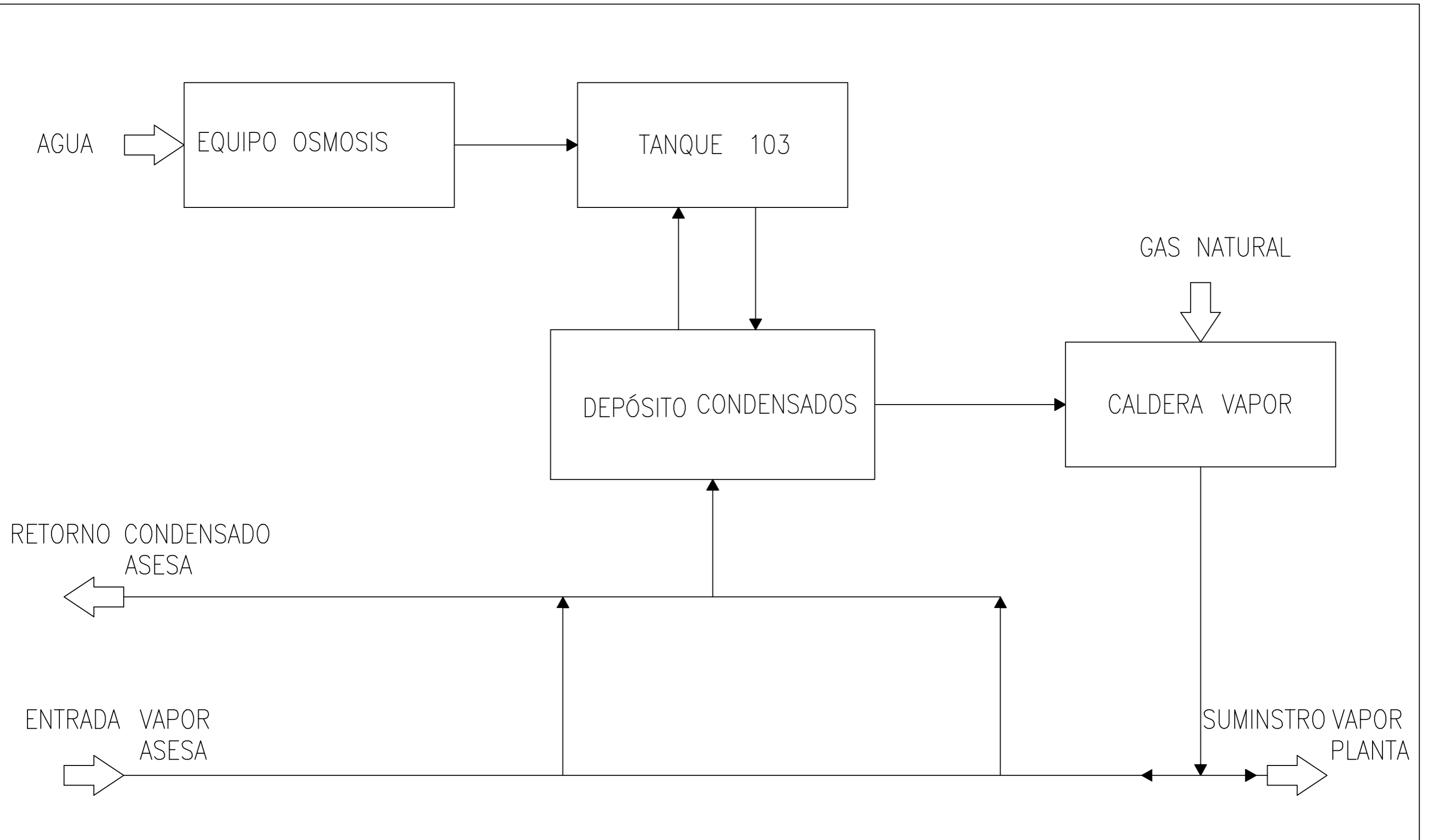
4.1.4. Propuesta de mejoras aplicadas

A continuación, se procede a detallar cada una de las medidas que se han propuesto con tal de mejorar el proceso de producción de vapor, el circuito de vapor, y el circuito de condensados.

- Se ha propuesto eliminar el tanque T-X40 por cuestión de calidad. Se trataba de un depósito abierto a la atmósfera que no aportaba ninguna necesidad al proceso. Se ha decidido sustituirlo por el tanque T-103 el cual tiene mayor capacidad y por lo tanto podrá realizar la función de pulmón de condensado de una forma más eficiente.
- Se ha decidido automatizar alguna de las válvulas manuales como la entrada de condensados al depósito, la salida de vapor de la caldera, la entrada del vapor suministrado por ASESА y el retorno del condensado a ASESА. Esto permitirá una mejor dinámica de trabajo cuando se requiera abrir y cerrar estas válvulas.
- Se ha decidido sectorizar las zonas a partir de válvulas automáticas para poder cerrarlas cuando sea necesario.
- Se han aumentado las lecturas de presión y temperatura del circuito con tal de controlar mejor el proceso.
- Se ha decidido implantar un caudalímetro de vapor con el objetivo de tener mayor control sobre el vapor suministrado por la empresa ASESА.

4.1.5. BFD modificado

Como se ha mencionado anteriormente, se ha propuesto eliminar el T-X40. Por lo tanto, el BFD quedaría como se muestra a continuación.



<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>				
<i>BFD modificado</i>		<i>Nº2.2</i>		
<i>CALDERA DE VAPOR</i>		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Escala S/E</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Fecha Abr-11</td> </tr> </table>	Escala S/E	Fecha Abr-11
Escala S/E	Fecha Abr-11			

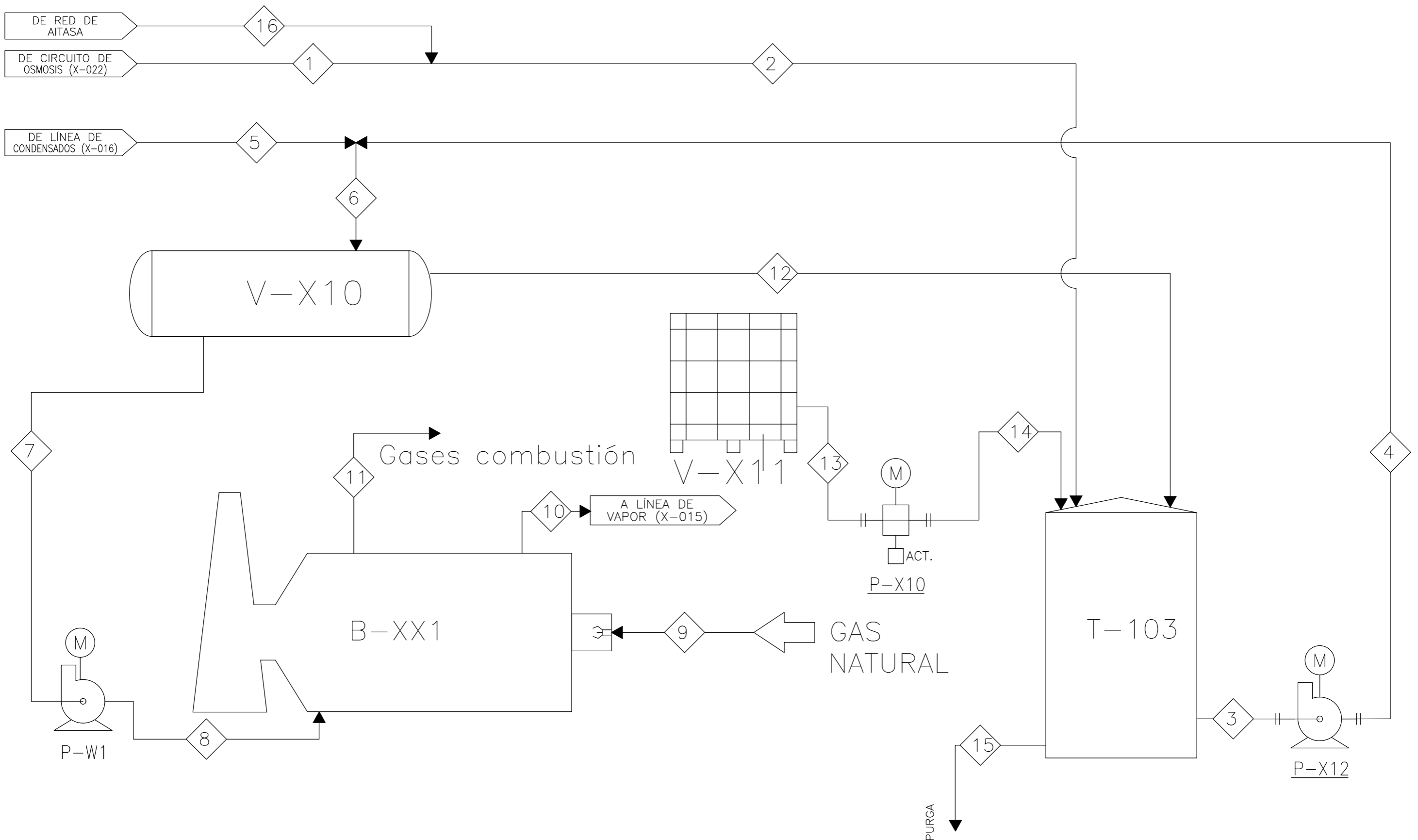
4.1.6. PFD modificado

Como se ha mencionado anteriormente, se ha propuesto eliminar el T-X40, por lo tanto, el PFD actual quedaría como se muestra en el PFD a continuación.

Para realizar el balance de materia se ha supuesto que el 80% de vapor generado en la caldera, retorna en forma de condensado en la corriente 5, por lo tanto, el equipo de osmosis (corriente 1) aportará el 20 % de agua necesaria para la caldera. La corriente 16 (agua de red) no se utiliza usualmente; su uso está restringido a situaciones muy críticas.

En cuanto al desengrasante que se aditiva al agua de alimentación de caldera, se ha trabajado con una proporción del 10% respecto al agua proveniente de la corriente de osmosis.

Para el balance no se ha tenido en cuenta la cantidad de agua que se purga (corriente 15).



Nº Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T max. (°C)	38	38	-	-	100	88	88	88	-	181	-	88	-	-	-	30
T normal (°C)	25	25	25	25	95	81	81	81	19	152	224	81	25	25	-	25
T min. (°C)	10	10	-	-	90	74	74	74	-	144	-	74	-	-	-	10
P max. (bara)	-	-	-	-	-	-	-	6	-	7,74	-	-	-	-	-	-
P normal (bara)	4,4	4,4	1	4	1	1,68	1	4	0,3	5	1	1	1	2	-	1
P min (bara)	1	1	-	-	-	-	-	1,6	-	4	-	-	-	-	-	-
Caudal volumétrico (m3/h)																
Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	572,52	-	-	-	-	-	-
Agua	0,50	0,32	1,31	1,31	1,21	2,52	1,58	1,58	-	-	-	0,95	0,05	0,05	-	-
Gas natural	-	-	-	-	-	-	-	-	39,43	-	-	-	-	-	-	-
Gases combustión	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	509,37	-	-	-	-	-

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

PFD modificado

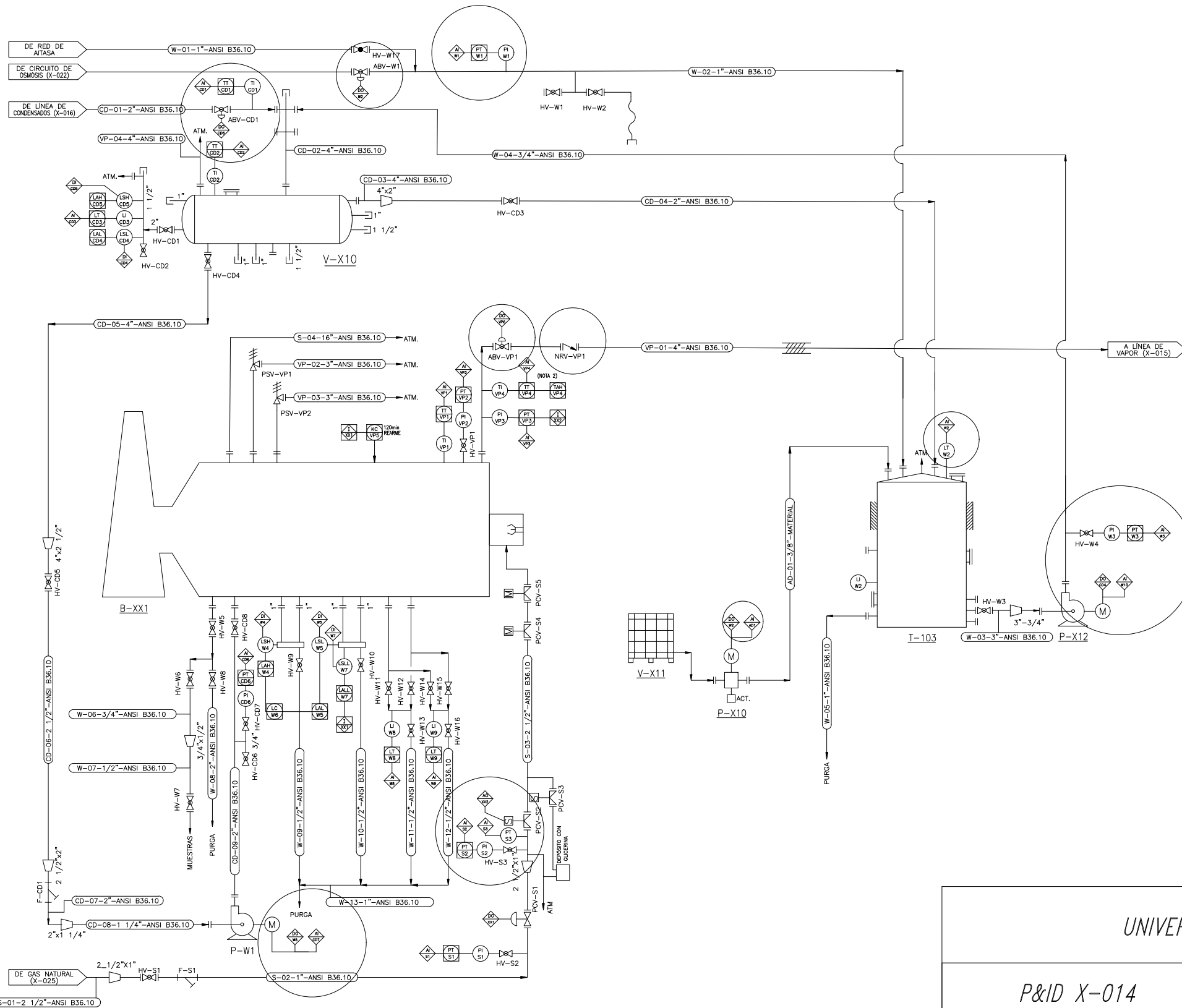
Nº 3.2

CALDERA DE VAPOR

Escala S/E	Fecha Abr-11
------------	-----------------

4.1.7. P&ID's modificados

A continuación, se presentan los diagramas de tuberías e instrumentación (*Piping and Instrumentation Diagram*) del proceso generación de vapor (P&ID X-014), circuito de vapor (P&ID X-015) y circuito de condensados (P&ID X-016), después de ser modificados con las propuestas descritas anteriormente.



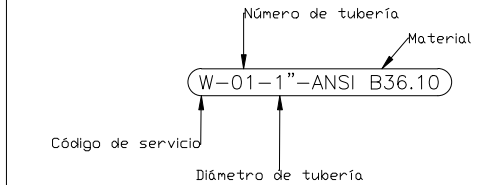
NOTAS GENERALES

- 1.- F/S INDICA FUERA DE SERVICIO
- 2.- ALARMA ACÓSTICA QUE SALTA CUANDO SE SUPERA EL LIMITE DE OPERACIÓN SEGURA IGUAL A 200°C.

CÓDIGO DE SERVICIOS

W	AGUA
CD	CONDENSADO DE VAPOR
S	SERVICIOS

CÓDIGO DE TUBERÍAS



LISTA DE EQUIPOS

V-X10	DEPÓSITO DE CONDENSADO
B-XX1	CALDERA VAPOR 1
V-X11	GRG DESENGRASANTE
T-103	TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA CALDERA
P-W1	BOMBA AGUA CALDERA VAPOR 1
P-X10	BOMBA ADITIVO AGUA CALDERA
P-X12	BOMBA AGUA CALDERIN
PSV-XXX	VÁLVULA DE SEGURIDAD DE PRESIÓN

LISTA DE VÁLVULAS

ABV-XXX	VÁLVULA AUTOMÁTICA DE BOLA		
HV-XXX	VÁLVULA MANUAL	ABIERTA	CERRADA
NRV-XXX	VÁLVULA ANTI-RETORNO		
PCV-XXX	VÁLVULA DE CONTROL DE PRESIÓN		

LISTA DE INSTRUMENTACIÓN

DI	ENTRADA DIGITAL
DO	SALIDA DIGITAL
AI	ENTRADA ANALÓGICA
AO	SALIDA ANALÓGICA
PI	INDICADOR DE PRESIÓN
PT	TRANSMISOR DE PRESIÓN
TI	INDICADOR DE TEMPERATURA
TT	TRANSMISOR DE TEMPERATURA
TIC	INDICADOR Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA
LI	INDICADOR DE NIVEL
LT	TRANSMISOR DE NIVEL
LSL	SWITCH DE BAJO NIVEL
LSH	SWITCH DE ALTO NIVEL
LSLL	SWITCH DE BAJO NIVEL PARA NIVEL SUPERIOR A LSL
LAL	ALARMA DE BAJO NIVEL
LAH	ALARMA DE ALTO NIVEL
TAH	ALARMA DE ALTA TEMPERATURA
LALL	ALARMA DE NIVEL BAJO PARA NIVEL SUPERIOR A LAL
LC	CONTROLADOR DE NIVEL
KC	REGULADOR DE TIEMPO

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

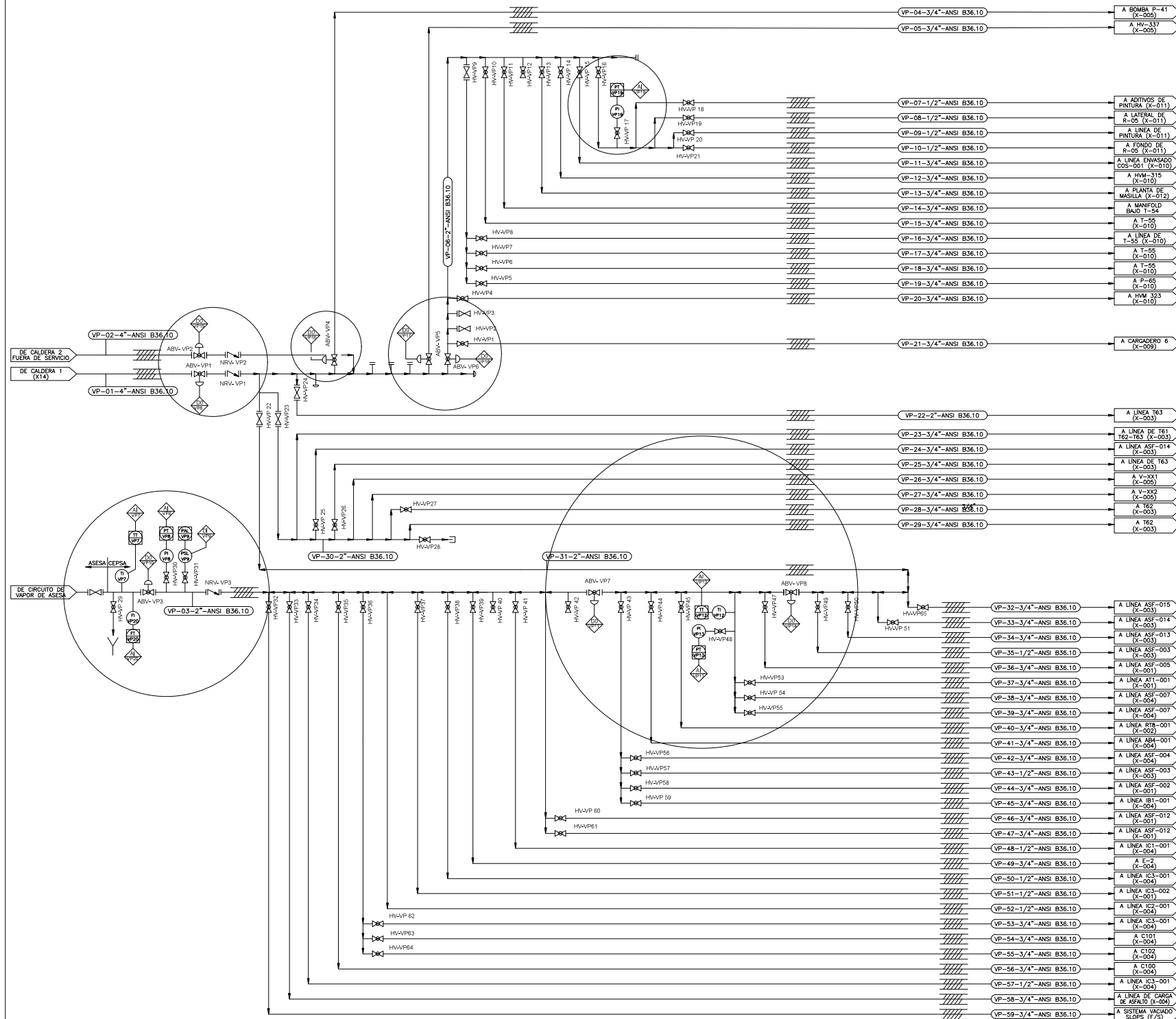
P&ID X-014

Nº 4.2

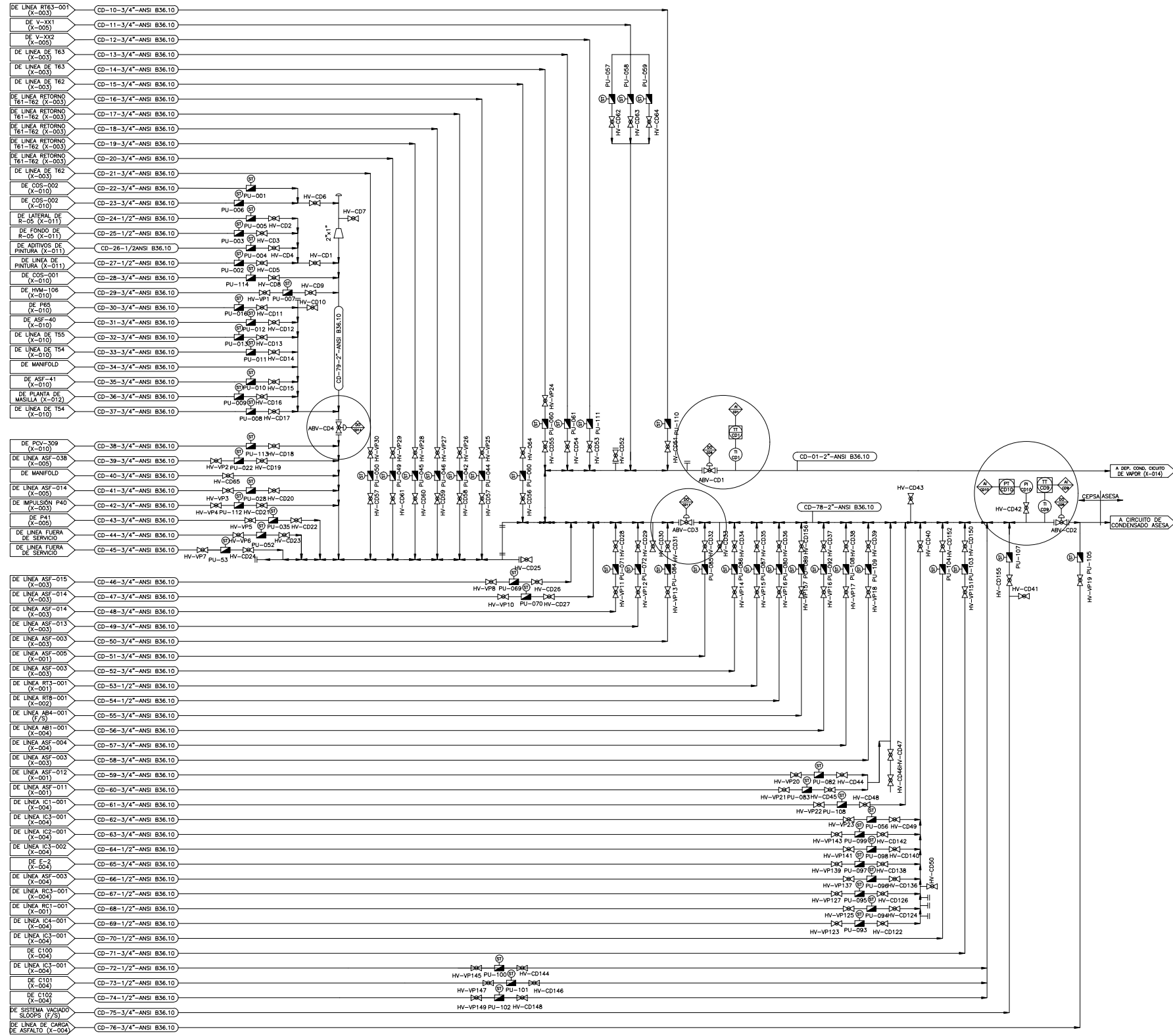
Caldera de vapor

Escala
S/E

Fecha
Abr-11



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
P&ID X-015		N°5.2
circuit de vapor		Escala S/E Fecha Abr-11



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
P&ID X-016	Nº6.2	
circuito de condensado	Escala S/E	Fecha Abr-11

4.1.8. Control del proceso modificado

En el presente apartado se explicará de manera detallada el sistema de control del proceso de generación de vapor.

Control depósito de condensados V-X10

En el depósito de condensado V-X10, se almacena el condensado originado debido al enfriamiento del vapor transportado en las tuberías a las diferentes plantas. Este depósito tiene instalado un transmisor de temperatura con el cuál se puede controlar a qué temperatura llega el condensado. En el caso en el que entrase vapor al depósito de condensados, este sería enviado a la atmosfera debido a que en el depósito hay una tubería que conecta directamente con el exterior. También contiene un indicador de nivel visual de tipo flotador que consiste en un flotador ubicado dentro del tanque conectado con una escala gradual que marca en todo momento a qué nivel se encuentra el depósito. Además, en la escala hay instalados interruptores que detectan si el nivel supera o se queda por debajo del nivel máximo y mínimo establecido y envían una señal digital, activando una alarma. En caso de que hubiese alto nivel, por acción de la gravedad, el líquido iría a parar a al tanque T-103. En caso de que el depósito tuviese un nivel mínimo, el interruptor mandaría una señal digital a la bomba P-X12, la cual se activaría y bombearía agua del tanque T-103 al depósito de condensados.

Tabla 4.1. Configuración del sistema de control del depósito de condensados V-X10.

Transmisor	Tipos señal	Control
TT-CD1	Analógico	Temperatura del condensado que entra al depósito
TT-CD2	Analógico	Temperatura del condensado dentro del depósito
LT-CD3	Analógico	Nivel de condensado
LSL-CD4	Digital	Poner en marcha la bomba P-X12
LSH-CD5	Digital	Parar la bomba P-X12

Control caldera B-XX1

La caldera B-XX1 transforma el agua que le llega del depósito V-X10 a vapor. El quemador de la caldera funciona con gas natural.

La alimentación de la caldera está controlada por un lazo de control de nivel. Este actúa sobre la bomba P-W1 que se pone en marcha cuando el nivel de agua es mínimo dentro de la caldera, y cuando es máximo se apaga. Además, para asegurar que la bomba está funcionando correctamente se ha instalado un indicador de presión a la impulsión de esta.

Para el control del nivel de agua dentro de la caldera, se han instalado interruptores de alto y bajo nivel, que activan sus respectivas alarmas. También se ha instalado un interruptor de nivel por debajo del *setpoint* de nivel bajo que, en el caso de haber un nivel de agua por debajo de este valor, se enviaría una señal a la válvula PCV-S1 para cortar el suministro de gas.

El suministro de gas al quemador viene controlado también por un transmisor de presión ubicado en la salida de vapor de la caldera. En caso de alta o baja presión, el lazo de control regula el suministro según el caso. En esta línea de suministro de gas se han instalado varios sensores de presión para poder detectar cualquier cambio debido a la peligrosidad que conllevan ambas situaciones. Estos transmisores envían una señal analógica a la válvula PCV-S2 con tal de regular la presión a la que se alimenta el gas en la caldera.

Tal y como se ha dicho, en la corriente de salida de la caldera se encuentra un indicador/transmisor de presión con tal de comprobar que el vapor de salida se encuentra en las condiciones deseadas y si no se diera el caso, controlar el suministro de gas a la caldera.

También se encuentra un indicador/transmisor de temperatura que, en el caso de que la temperatura del vapor de salida sea elevada, se activa una alarma. La caldera también consta de transmisores de temperatura y presión para tener control de las condiciones del vapor generado dentro de ella y, por lo tanto, tener un control de las condiciones de operación de esta. También dispone de una válvula antirretorno en la corriente de salida con tal de que el vapor generado no pueda regresar de nuevo a la caldera.

Además, la caldera contiene una tubería que se utiliza como chimenea para eliminar los humos que se forman durante la combustión, los cuales son enviados a la atmósfera. También contiene dos PSV que, en caso de que hubiese un fallo y la presión superase los 8,74 bar, se abrirían y el vapor generado se enviaría a la atmósfera.

Siguiendo la normativa^[22] técnica de supervisión y control que especifica el funcionamiento de los elementos de operación y de las seguridades de la caldera, se dispone de un elemento que regula el tiempo en el que la caldera está en marcha. Tal y como se indica, cada 120 minutos (2 horas), la caldera se para y se vuelve a encender.

Tabla 4.2. Configuración del sistema de control de la caldera B-XX1.

Configuración control	Variable entrada	Variable salida
LC-W6	LSH-W4	P-W1
	LSL-W5	
I-XX1	LSLL-W7	PCV-S1
	PT-VP3	
	KC-VP3	

Tabla 4.3. Configuración del sistema de control de la caldera B-XX1.

Transmisor	Tipos señal	Control
PT-CD6	Analógico	Presión del agua que entra a la caldera.
TT-VP1	Analógico	Temperatura del vapor dentro de la caldera
PT-VP2	Analógico	Presión del vapor dentro de la caldera
PT-VP3	Analógico	Presión del vapor de salida de la caldera
TT-VP4	Analógico	Temperatura del vapor de salida de la caldera
KC-VP5	Digital	Para el suministro de gas cuando hayan pasado las 2 horas
LT-W8/W9	Analógico	Nivel de agua dentro de la caldera

Control tanque T-103

El tanque T-103 se utiliza básicamente como pulmón del depósito de condensados y reposición de agua proveniente de las osmosis. Es decir, en caso de que el depósito de condensados se llene, poder almacenar el condensado sobrante y, en caso de que se vacíe, poder suministrarle el nivel de agua que necesite. Este tanque contiene un indicador de nivel visual que consiste en un flotador ubicado dentro del tanque que está conectado a una escala gradual. Esta escala es invertida, por lo que cuando el flotador se encuentre en el punto más alto, la aguja que se mueve encima de la escala marcará el punto más bajo. También se encuentra controlado a partir de un sensor de nivel tipo radar, que envía una señal analógica a cuadro de control. En caso de tener un nivel inferior a 1m, lo que corresponde a un volumen de 10 m³ (un 21% del volumen total del tanque), se envía una señal digital al controlador que se encarga de activar el proceso de osmosis, y se envía una señal a la válvula ABV-W1 para que se abra y poder alimentar al tanque de esta corriente de agua de osmosis. En el punto en el que se detecte que el nivel ha llegado a 3m, lo que corresponde a 29 m³ de volumen (un 64% del volumen total del tanque), se envía una señal digital al controlador del proceso de osmosis

y a la válvula ABV-W1 para que se desactive y se cierre. Debido a que se alimenta el tanque con el agua de osmosis, se dispone del desengrasante V-X11 que suministra aditivo al tanque con tal de que no se produzca corrosión. Por este motivo, la bomba P-X10 se activa mediante una señal digital en el mismo momento en el que se activa el proceso de osmosis.

Tabla 4.4. Configuración del sistema de control del tanque T-103.

Transmisor	Tipos señal	Control
LT-W2	Analógico	Nivel de agua en el tanque.

Como se ha comentado en varias ocasiones, el nivel dentro de los diferentes tanques es el que controla la puesta en marcha de las bombas tal y como se puede ver en el esquema que se presenta en la figura 4.1.

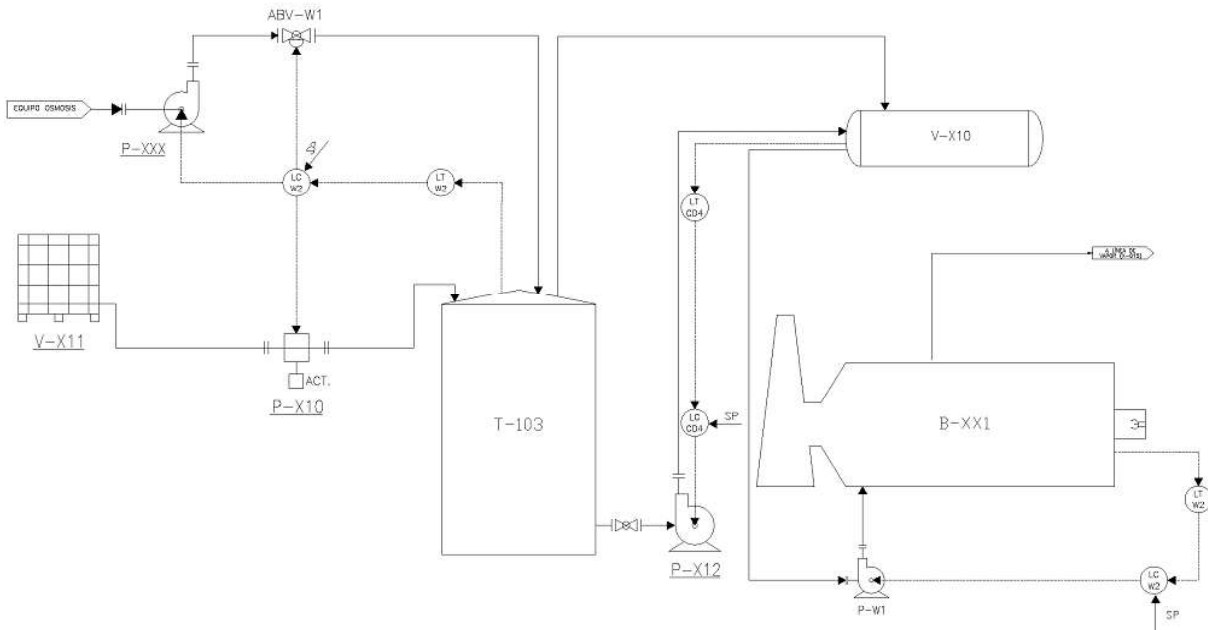


Figura 4.1. Esquema representativo del control de la puesta en marcha de las diferentes bombas del circuito de vapor.

4.1.9. Listado de equipos

A continuación, se muestran los listados de válvulas y tuberías.

Listado de válvulas

Una vez se ha identificado la ubicación de las nuevas válvulas automáticas, como se puede ver en el apartado 4.2.7, se definen las condiciones de operación de estas. La temperatura a la que está sujeta el fluido que circula por dentro de las tuberías es de unos 150°C a unos 5 bar.

Una vez conocidas las condiciones de operación se procede a hacer un estudio de mercado. Después de contactar con varias empresas, se ha decidido que la mejor opción es la que se muestra a continuación en la tabla 4.5. Cabe destacar que los actuadores son neumáticos, que en caso de que haya un fallo se abren y que el precio mostrado en las tablas es sin IVA. En el anexo A.5 se encuentra el catálogo que se ha utilizado.

Tabla 4.5. Listado de válvulas.

TAG	P&ID	DESCRIPCIÓN INSTRUMENTO	NOMBRE LÍNEA	DIÁMETRO (")	FUNCIÓN	MODELO VÁLVULA	ACCIÓN	RANGO TEMP.(°C)	PRECIO (€)	PRESIÓN NOMINAL	FABRICANTE	MODELO
ABV - W1	X-014	Válvula bloqueo automática	W-01-1"- ANSI B36.10	1/2"	Impedir/ Permitir paso fluido	Válvula Bola Bidas	Manual	de -25a 150	17,04	65	Salvador Escoda S.A	AA 03 271
ABV-CD1	X-014/X-016	Válvula bloqueo automática	CD-01-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso fluido	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	63	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-VP1	X-014/X-015	Válvula bloqueo automática	VP-01-4"- ANSI B36.10	3"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	1683,17	63	Salvador Escoda S.A	CD 60 095
ABV-VP2	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-02-4"- ANSI B36.10	3"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	1683,17	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 095
ABV-VP3	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-03-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-VP4	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-04-3/4"- ANSI B36.10	3/8"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	366,59	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 033
ABV-VP5	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-05-3/4"- ANSI B36.10	3/8"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	366,59	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 033
ABV-VP6	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-06-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-VP7	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-03-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-VP8	X- 015	Válvula bloqueo automática	VP-03-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso Vapor	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-CD2	X-016	Válvula bloqueo automática	CD-78-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso fluido	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	63	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-CD3	X-016	Válvula bloqueo automática	CD-78-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso fluido	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	63	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
ABV-CD4	X-016	Válvula bloqueo automática	CD-79-2"- ANSI B36.10	1"	Impedir/ Permitir paso fluido	Válvula Bola Bidas	Automática	de -25a 180	389,04	63	Salvador Escoda S.A	CD 60 035
NRV-VP3	X-016	Válvula antirretorno	VP-03-2"- ANSI B36.10	1"	Evitar retorno del fluido	Válvula de retención de disco	Automática	de -10 a 100	558,21	16	Salvador Escoda S.A	CD 60 132

Listado de tuberías [23], [24]

Tabla 4.6. Listado de tuberías.

N° LÍNEA	TAMAÑO NOMINAL (inches)	CÓDIGO	P&ID	DESDE	A	FLUIDO	FASE FLUIDO	T° OPERACIÓN (°C)	P OPERACIÓN (bar a)	T° DISEÑO (°C)	P DISEÑO (bar a)	P PRUEBA (bar a)	TIPO AISLAMIENTO	ESPESOR NOMINAL (mm)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	ÁREA INTERIOR (mm)	PESO TUBERÍA (kg/m)
W-01	1"	ANSI B36.10	X014	AITASA	W-02	AGUA	L	25	4,4	50	16,00	24,00		3,38	33,40	26,65	5,58	2,49
W-02	1"	ANSI B36.10	X014	X-022	T-103	AGUA	L	25	4,4	50	16,00	24,00		3,38	33,40	26,65	5,58	2,49
W-03	3"	ANSI B36.10	X014	T-103	W-04	AGUA	L	25	1	50	16,00	24,00		5,49	88,90	77,93	47,70	11,26
W-04	3/4"	ANSI B36.10	X014	W-03	CD-02	AGUA	L	25	4	50	16,00	24,00		2,87	26,67	20,93	3,44	1,68
W-05	1"	ANSI B36.10	X014	T-103	PURGA	AGUA	L	25	1	50	16,00	24,00		3,38	33,40	26,65	5,58	2,49
W-06	3/4"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	W-07	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,87	26,67	20,93	3,44	1,68
W-07	1/2"	ANSI B36.10	X014	W-06	MUESTRA	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,77	21,34	15,79	1,96	1,27
W-08	2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	PURGA	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
W-09	1/2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	W-13	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,77	21,34	15,79	1,96	1,27
W-10	1/2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	W-13	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,77	21,34	15,79	1,96	1,27
W-11	1/2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	W-13	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,77	21,34	15,79	1,96	1,27
W-12	1/2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	W-13	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	2,77	21,34	15,79	1,96	1,27
W-13	1"	ANSI B36.10	X014	W9-W12	PURGA	AGUA	L	150	5	175	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,38	33,40	26,65	5,58	2,49
CD-01	2"	ANSI B36.10	X014	X-016	CD-02	AGUA	L	100	1	125	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
CD-02	4"	ANSI B36.10	X014	CD-01 + W-04	V-X10	AGUA	L	74-88	1-2	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	6,02	114,30	102,26	82,13	16,03
CD-03	4"	ANSI B36.10	X014	V-X10	CD-04	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	6,02	114,30	102,26	82,13	16,03
CD-04	2"	ANSI B36.10	X014	CD-03	T-103	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
CD-05	4"	ANSI B36.10	X014	V-X10	CD-06	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	6,02	114,30	102,26	82,13	16,03
CD-06	2 1/2"	ANSI B36.10	X014	CD-05	CD-07	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
CD-07	2"	ANSI B36.10	X014	CD-06	CD-08	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	5,16	73,03	62,71	30,89	8,61
CD-08	1 1/4"	ANSI B36.10	X014	CD-07	CD-09	AGUA	L	74-88	1	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
CD-09	2"	ANSI B36.10	X014	CD-08	B-XX1	AGUA	L	74-88	4	99-113	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,56	42,16	35,05	9,65	3,38
VP-01	2"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	X-015	VAPOR	V	152	5	177	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	3,91	60,33	52,50	21,65	5,43
VP-02	3"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	ATM.	VAPOR	V	176	9	201	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	5,49	88,90	77,93	47,70	11,26
VP-03	3"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	ATM.	VAPOR	V	176	9	201	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	5,49	88,90	77,93	47,70	11,26
S-01	2 1/2"	ANSI B36.10	X014	X-025	S-02	GAS NATURAL	G	25	5	50	16,00	24,00		5,16	73,03	62,71	30,89	8,61
S-02	1"	ANSI B36.10	X014	S-01	S-03	GAS NATURAL	G	25	2	50	16,00	24,00		3,38	33,40	26,65	5,58	2,49
S-03	2 1/2"	ANSI B36.10	X014	S-02	B-XX1	GAS NATURAL	G	25	0,3	50	16,00	24,00		5,16	73,03	62,71	30,89	8,61
S-04	16"	ANSI B36.10	X014	B-XX1	ATM.	HUMOS	G	224	1	249	16,00	24,00	LANA DE VIDRIO	9,53	406,40	387,35	118,77	93,13

Listado de instrumentación [30], [31], [32], [33], [34]

Tabla 4.7. Listado de instrumentos.

TAG	P&ID	Descripción del Instrumento	Número de la línea	Señal	Manufacturado	Número del modelo	Temperatura	Presión
LT-CD3	X-014	Transmisor de Nivel deposito condensados	----	CAI	Vega	Vegabar 82	de - 40 a 150°C	de 1 a 60 bar
LAH-CD5	X-014	Alto nivel Transmisor	----	NONE	Vega	Vegapoint 21	de -40 a 115C	de 1 a 25 bar
PT-CD6	X-014	Transmisor de Presión	CD-09-2"- ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
TI-CD1	X-014	Indicador de temperatura	CD-01-2"-ANSI B36.10	NONE	WIKA	TR10-B	de -50 a 250°C	de 1 a 50 bar
TT-CD1	X-014	Transmisor de Temperatura	CD-01-2"-ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
LSH-CD5	X-014		----	CDI	Vega	Vegabar 82	de - 40 a 150°C	de 1 a 60 bar
TT-CD2	X-014	Transmisor de Temperatura	----	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
TT-VP1	X-014	Transmisor de Temperatura	----	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
PT-VP2	X-014	Transmisor de Presión	----	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
TI-VP4	X-014	Indicador de temperatura	VP-01-4"-ANSI B36.10	NONE	WIKA	TR10-B	de -50 a 250°C	-----
TT-VP4	X-014	Transmisor de Temperatura	VP-01-4"-ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
PI-VP3	X-014	Indicador de Presión	VP-01-4"-ANSI B36.10	NONE	Vega	PLISCOM	-----	-----
PT-VP3	X-014	Transmisor de Presión	VP-01-4"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
PT- W3	X-014	Transmisor de Presión	W-03-3"-ANSI B36,10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
LT-W8	X-014	Transmisor de Nivel caldera	W-11-1/2"-ANSI B36.10	CAI	Rosemount	Rosemount 2120	de -40 a 150°C	-----
LT-W9	X-014	Transmisor de Nivel caldera	W-12-1/2"-ANSI B36.10	CAI	Rosemount	Rosemount 2120	de -40 a 150°C	-----
LT-W2	X-014	Transmisor de nivel tanque 103	----	CAI	Rosemount	Rosemount 2120	de -40 a 150°C	-----
PT-S2	X-014	Transmisor de Presión	S-03-2 1/2"- ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
PI-S1	X-014	Indicador de Presión	S-02-1"-ANSI B36.10	NONE	Vega	PLISCOM	-----	-----
PT-S1	X-014	Transmisor de Presión	S-02-1"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
PT-CD10	X-016	Transmisor de Presión	CD-78-2"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
TT-CD09	X-016	Transmisor de Temperatura	CD-78-2"-ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
TT-CD1	X-016	Transmisor de Temperatura	CD-01- 2"- ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
FI-VP20	X-015	Indicador de flujo	VP-03-2"-ANSI B36.10	NONE	Spirax Arco	TI-P193-01	máximo de 240	2,5-3,5 bar
FT-VP20	X-015	Transmisor de flujo	VP-03-2"-ANSI B36.10	CAI				
TT-VP7	X-015	Transmisor de Temperatura	VP-03-2"-ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
PT-VP8	X-015	Transmisor de Presión	VP-03-2"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
PSL-VP9	X-015	Transmisor de baja presión	VP-03-2"-ANSI B36.10	CDI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
PT-VP13	X-015	Transmisor de Presión	VP-03-2"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar
TT-VP12	X-015	Transmisor de Temperatura	VP-03-2"-ANSI B36.10	CAI	WIKA / HART	T32.1S/T32.3S	-----	-----
PT-VP19	X-015	Transmisor de Presión	VP-06-2"-ANSI B36.10	CAI	Vega	Vegabar 83	de - 40 a 200°C	de 1 a 60 bar

4.2. Recirculación del betún en tanque T-04

En el presente apartado se explicará porqué se ha decidido rediseñar la recirculación de betún, cómo se ha diseñado y qué consecuencias tendrá.

Como se ha comentado en varias ocasiones, CCP Asfaltos Tarragona produce betún modificado, uno de sus varios productos. Este betún una vez producido se almacena en unos tanques de una capacidad de 200 toneladas con agitación. La agitación de los tanques asegura que, a pesar de mezclar diferentes lotes de producción, el producto final quede homogenizado.

Normalmente, el transporte a los clientes se lleva a cabo mediante carretera y el betún se carga en cisternas de 25 toneladas cada una.

En 2018 llegó una gran demanda de betún modificado desde las Islas Canarias. Para poder enviarlo, el betún se tiene que transportar en barcos, lo cual significa un tiempo mayor de almacenamiento (puede llegar hasta 6 meses). Esto suponía a Cepsa el cambio en la receta del betún modificado ya que de la otra manera el producto perdería sus propiedades.

Los barcos de transporte de betún que se utilizan tienen capacidad media de 6.000 a 8.000 toneladas. Estos barcos suelen tener compartimentos, con lo cual permite cargar diferentes tipos de betún. En este caso la demanda es de 2.000 toneladas. Para alcanzar dicha demanda, se producían lotes de 50 toneladas, a las cual se les habilitó un tanque donde se almacenaba betún convencional sin agitación. Después, estas 2.000 toneladas se envían a la empresa ASESA, dónde acaban depositadas en un tanque con recirculación superior. A continuación, ASESA analiza las muestras del betún y si estas cumplen con las especificaciones, se carga en el barco.

Los dos primeros pedidos han sido expedidos con éxito ya que se cumplían las especificaciones, pero en el tercero no. Esto es debido a la recirculación inadecuada que se hacía en Cepsa.

En Cepsa, el betún modificado se almacenaba en el tanque T-62. Este dispone de una recirculación del betún a la misma altura, es decir, se extrae betún por un lado del tanque, y se retorna por el lado opuesto; además esta recirculación se llevaba a cabo a una altura de menos de 1 metro del tanque, por lo tanto, solamente había una recirculación en la parte inferior del tanque. Esto desfavorece la homogeneidad del producto. Aun así, las muestras que se analizaban en Cepsa daban resultados dentro de las especificaciones del cliente. Pero cuando el betún se envió del tanque T-62 a ASESA, estos al analizar el producto vieron que había ocurrido una estratificación del betún, es decir, no todo el producto era homogéneo y, por lo tanto, estaba fuera de especificación.

Debido a la incidencia que se ha tenido con el tercer envío, se ha planteado rediseñar la línea de recirculación del betún con el objetivo de obtener un producto homogéneo al mezclar diferentes lotes de producción.

4.2.1. Situación actual de la línea de recirculación de betún

Actualmente la línea de recirculación conecta el T-04 con la bomba P-09 y los brazos de carga tal y como se muestra en el *P&ID* actual N°8.1. Se tiene que remarcar el hecho de que se ha cambiado el almacenamiento del betún del tanque T-62 al T-04 (los dos con una capacidad de 2.000 Tn) porque se prevé que el tanque T-62 quede fuera de servicio.

El betún modificado se encuentra almacenado en el T-04 a unos 165°C y a presión atmosférica. Para la calefacción del tanque está instalado un serpentín en su interior a través del cual se hace pasar aceite a 200°C. Para poder mantener esta temperatura, el tanque está calorifugado con lana de roca que hace de aislante. Para el control de temperatura hay instalados varios indicadores y transmisores de temperatura a lo largo del tanque. En cuanto al nivel de betún dentro del tanque, hay instalado un transmisor de nivel de presión hidrostática que mide la diferencia de presión entre cabeza y fondo del recipiente.

A continuación, en la tabla 4.8. se explica el funcionamiento de los sensores de nivel.

Tabla 4.8. Configuración del sistema de control en el tanque T-04.

	Tipo de señal	Tipo	Funcionamiento
LSH	Digital	Sonda capacitiva	Cuando el nivel alcanza el 85% de la altura del tanque se activa el <i>switch</i> LSH proporcionando una alarma de alto nivel (LAH).
LSL	Digital	Sonda capacitiva	Cuando el nivel del tanque es mínimo se activa el <i>switch</i> LSL que envía una señal de salida a la válvula PCV AI202 cerrándola y, de este modo, cortando el suministro de aceite al serpentín. Además, proporciona una alarma de bajo nivel (LAL).
LTTA	Digital	Presión hidrostática	Cuando el nivel es muy bajo se activa el LTTA y este proporciona una alarma de muy bajo nivel.
TMAT	Analógica	Termoresistencia	Cuando la temperatura del tanque llega al <i>set point</i> , se envía una señal de cierre de la válvula de suministro de aceite al serpentín PCV AI202.

La toma de muestras se hace por una tubuladura que sale del tanque habilitada para dicha función.

La salida del betún del tanque se sitúa a unos 250 mm de la base del tanque. El retorno se hace a la misma altura por el lado opuesto.

La recirculación del betún se lleva a cabo mediante una tubería de 6 pulgadas de ANSI B36.10. Esta lleva un trazoado compuesto por 2 tuberías de aceite y 80 mm de calorifugado (lana de vidrio) para mantener la temperatura del betún tal y como se muestra en la figura 4.2.

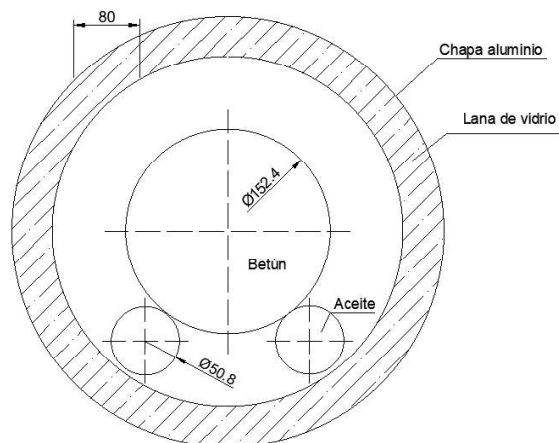


Figura 4.2. Geometría de la disposición del conjunto de tuberías que conforman la recirculación.

El betún del tanque T-04 tiene dos vías: la primera la compone la salida mediante el brazo de carga y la otra es el retorno hacia el tanque cuando no hay descarga. Esto se puede visualizar en la figura 4.3.

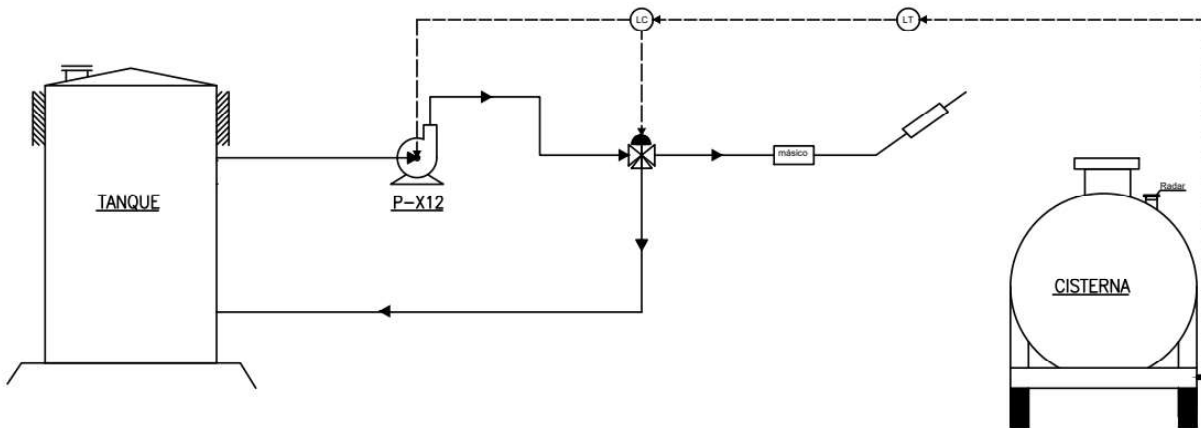


Figura 4.3. Esquema de la recirculación y descarga del betún modificado del tanque.

En esta línea se encuentra la bomba de engranajes P-09, cuyas características se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Información de la bomba P-09.

TAG	P-09
Tipos	Bomba de engranajes
Modelo	VIKING N335 3-576-354-312-47
Motor	ABB 30 kW
RPM	260
Caudal (m³/h)	102

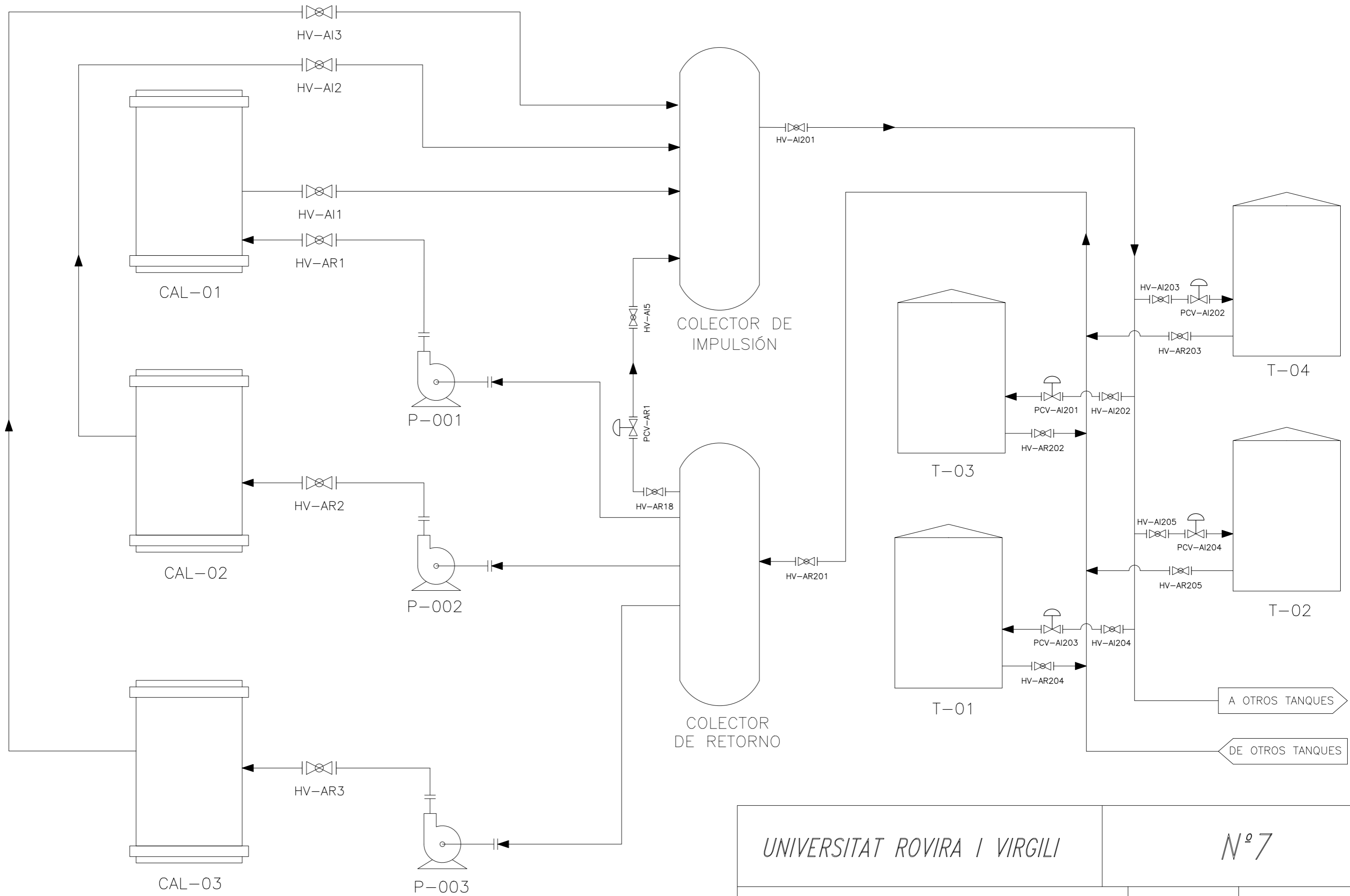
Como se ha comentado anteriormente, tanto el tanque T-04 como la línea de recirculación de betún tienen un trazo de aceite térmico.

El aceite térmico se calienta hasta los 200°C en tres calderas de aceite diferentes. A continuación, se distribuye mediante unos colectores a toda la planta tal y como se muestra en el esquema del circuito de aceite N°7.

Las características de las bombas que intervienen en el circuito de aceite se especifican en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Información de la bomba de aceite P-03.

TAG	P-03
Tipos	Bomba centrífuga
Modelo	MECANICA PRIM F-625
Motor	ABB 45 kW
RPM	260
Caudal (m³/h)	140



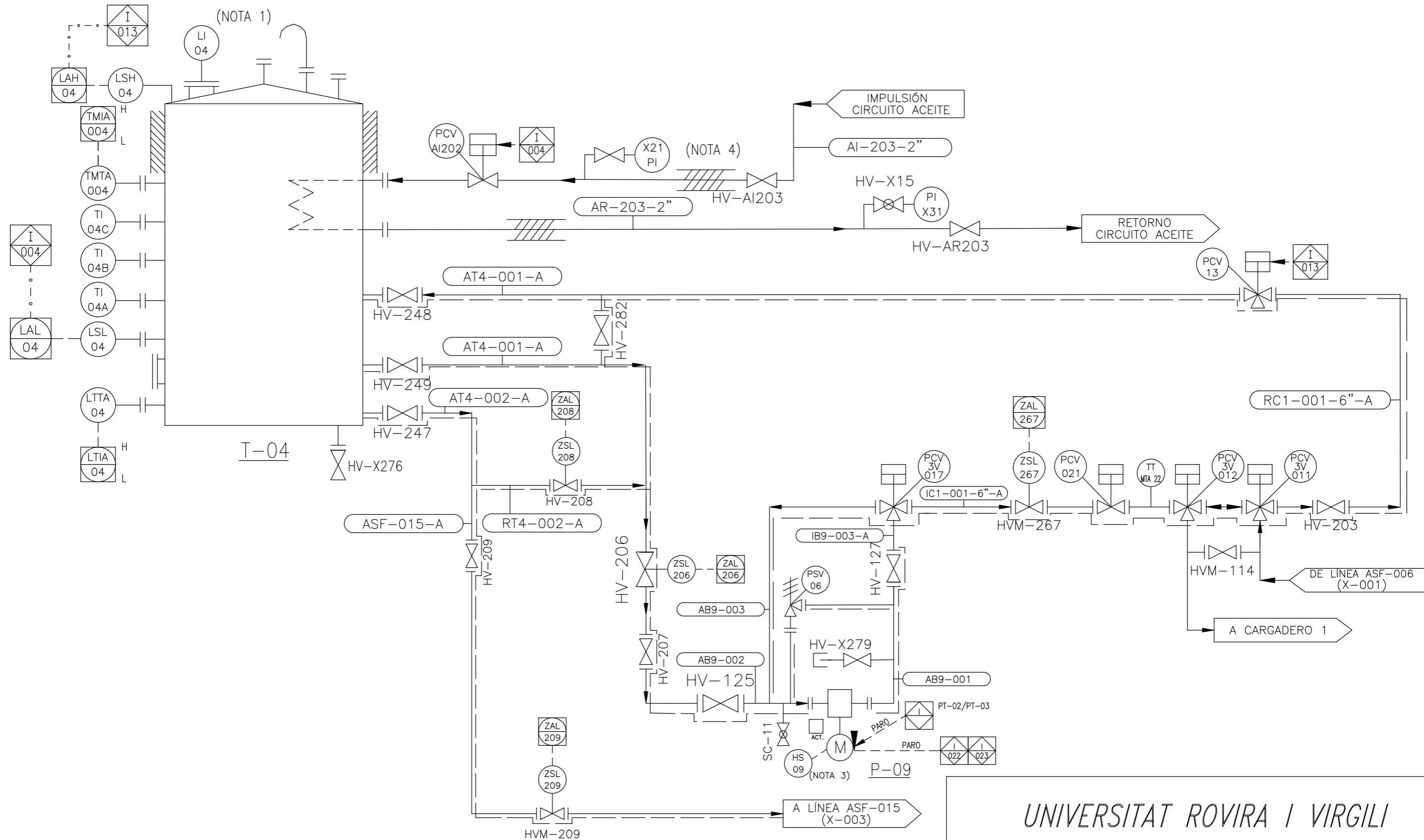
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Nº 7

CIRCUITO DE ACEITE

Escala
S/E

Fecha
09-marzo



- 1.- FUERA DE SERVICIO.
- 2.- TRACEADO CON ACEITE TÉRMICO O VAPOR DONDE SE INDICA
- 3.- HAND SWITCH EN CARGADERO Y EN MOTOR.
- 4.- Calorifugado de lana de vidrio

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID actual

Nº 8.1

Recirculación betún

Escala
S/E

Fecha
Abr-30

4.2.2. Propuestas de mejoras aplicadas

A continuación, se procede a detallar cada una de las medidas que se han propuesto con tal de mejorar el proceso de recirculación del betún.

- Se ha propuesto un cambio en el sistema de recirculación del betún debido a que este producto se encontraba fuera de las especificaciones por una mala recirculación de este. Por este motivo, se ha decidido retornar el betún a 1 m respecto la altura total del tanque (a 15 m) ya que anteriormente se retornaba a 250 mm respecto el suelo.

4.2.3. Rediseño de la recirculación del betún

Para solucionar el problema del producto no homogéneo se propusieron estas dos soluciones: equipar el tanque de un agitador o cambiar el sistema de recirculación del betún. La primera opción parecía más difícil de implantar debido a que estos tanques ya tienen serpentines interiores, lo cual en caso de poner un agitador siempre existirán zonas muertas y nunca se podrá tener una homogeneización completa. Además, esta opción económicamente es más cara. Por ello, se ha decantado por el diseño del sistema de recirculación.

El rediseño de la recirculación del betún consistirá en lo siguiente:

- Redistribución de la línea de recirculación.
- Elección de los elementos de control necesarios.
- Comprobación del tipo de bomba.

Estos 3 puntos se comentarán a continuación al detalle.

Redistribución de la línea de recirculación

Como se ha comentado anteriormente, la problemática que tuvo la empresa con el tercer pedido de las Islas Canarias ha sido principalmente por el sistema de recirculación que se utilizaba. Por ello, en este apartado se va a proponer una distribución diferente de la línea del betún.

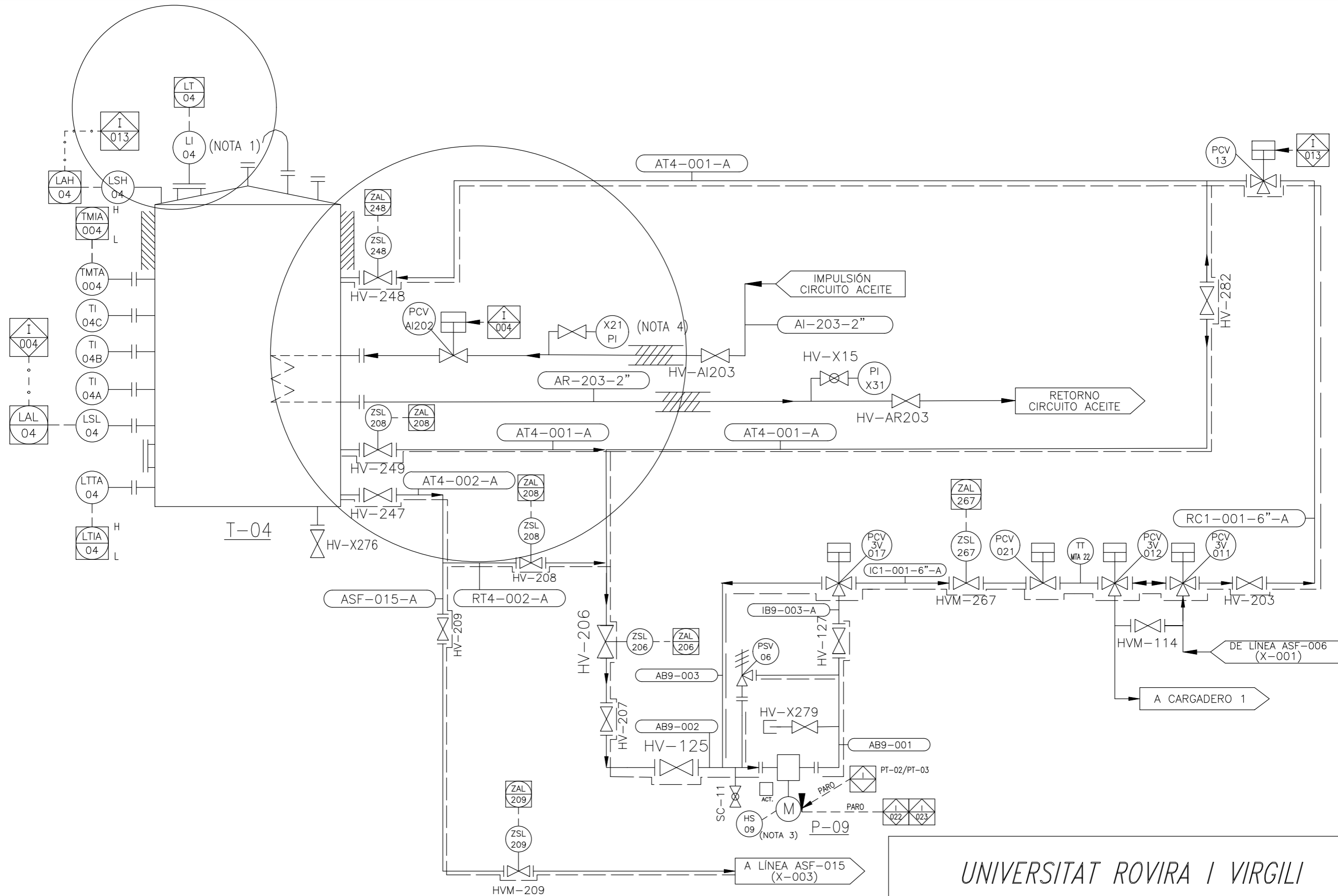
La propuesta consistirá en hacer la recirculación del betún por la parte superior del tanque. Es decir, el retorno del betún al tanque se haría a los 15 m de la altura del tanque. La salida del betún se mantendría a unos 250 mm de la base del tanque. Con esto se va a conseguir un mayor movimiento del betún dentro del tanque. Además, el abocamiento del betún en el tanque se hará del tal modo que este caiga con un cierto ángulo de la pared, y de este modo se favorecerá más la mezcla del betún dentro del tanque consiguiendo mayor distribución.

La tubería subirá verticalmente, apoyada en un pilar anexo mediante enganches. Las tuberías que forman la línea de recirculación tendrán un aislamiento térmico de lana de vidrio de un espesor de 90 a 100 mm y este a su vez irá recubierto por chapa de aluminio.

Elección de los elementos de control necesarios

Las válvulas de entrada y salida del betún del tanque se mantienen como válvulas manuales ya que serán de uso esporádico (unas 3 veces al año), por lo tanto, no es necesario automatizarlas.

A continuación, se muestra el P&ID modificado N°8.2 según la redistribución de la línea de recirculación.



- 1.- FUERA DE SERVICIO.
- 2.- TRACEADO CON ACEITE TÉRMICO O VAPOR DONDE SE INDICA
- 3.- HAND SWITCH EN CARGADERO Y EN MOTOR.
- 4.- Calorifugado de lana de vidrio

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID modificado

Nº 8.2

Recirculación betún

Escala
S/E

Fecha
Abr-30

Comprobación del tipo de bomba

Un factor a tener en cuenta en el rediseño de la recirculación de betún es si la bomba P-09 será capaz de bombear el producto contando con la nueva disposición. Para ello, primero se ha calculado la pérdida de carga que habría en toda la longitud de la línea de recirculación. En la tabla 4.11 podemos encontrar los parámetros utilizados para calcularla a partir de la siguiente ecuación, la cual corresponde a la ecuación de Bernoulli. El desarrollo de los cálculos se puede encontrar en el apartado A.8.1 de Anexos.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{\rho} + gz_1 + w_b = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{\rho} + gz_2 + w_t + w_f \quad (4.1)$$

Despreciando todos los factores que no interfieren en este caso, la fórmula queda de la siguiente manera.

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho} = gz_2 + w_f = gz_2 + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} + (\sum N \cdot K) \cdot \frac{v^2}{2} \quad (4.2)$$

Tabla 4.11 Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga de la línea de recirculación del betún.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	102	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,152	m
Velocidad (V)	1,55	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Altura (z ₂)	15	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	210	m
Nº de codos de 90º	8	
Factor K codos 90º ^[25]	0,383	
Nº de codos de 45º	2	
Factor K codos 45º ^[25]	0,204	
Nº de curvas de 180º	1	
Factor K curvas 180º ^[25]	0,639	
Densidad betún (ρ)	940	kg/m ³

Teniendo en cuenta estos parámetros, la pérdida de carga obtenida es de 1,74 bar.

Habiendo calculado la pérdida de presión, se procede a calcular la potencia necesaria para bombear el producto a partir de la presión de aspiración obtenida del gráfico H-Q de la bomba P-09, y el caudal. La curva H-Q se puede encontrar en el Anexo A.8.1. En la tabla 4.12 se encuentran los parámetros utilizados para calcular la potencia necesaria de la bomba a partir de la siguiente ecuación.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} = \frac{Q \cdot p}{\eta} \quad (4.3)$$

Dónde 'p' es la presión total que equivale a la suma de la presión de aspiración de la bomba más la pérdida de presión que habría a lo largo de toda la línea de recirculación.

Tabla 4.12 Parámetros utilizados para el cálculo de la potencia necesaria de la línea de recirculación del betún.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	102	m ³ /h
Presión de aspiración	3,44	bar
Pérdida de presión	1,74	bar
Presión total (p)	5,19	bar
Rendimiento de la bomba (η)	0,75	

Teniendo en cuenta estos parámetros, la potencia necesaria para poder bombear el producto por la línea de recirculación es de 19,6 kW. Teniendo en cuenta que la bomba utilizada tiene una potencia nominal de 30 kW, sería adecuada para la recirculación del betún.

Por la misma razón y con el mismo procedimiento, se ha calculado la pérdida de carga del circuito de aceite tanto de acompañamiento a la línea de recirculación de betún, como de la línea utilizada para calentar el tanque T-04; y la potencia que necesitaría la bomba P-03 para transportar el aceite por todo el circuito. El desarrollo de los cálculos se puede encontrar en los apartados A.8.2 de Anexos.

Los parámetros a tener en cuenta en el cálculo de la pérdida de carga de la línea de acompañamiento de aceite a la línea de recirculación de betún se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 4.13. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga de la línea de aceite de acompañamiento a la línea de recirculación del betún.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	14	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,0508	m
Velocidad (V)	1,92	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Altura (z ₂)	15	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	210	m
Nº de codos de 90°	8	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Nº de codos de 45°	2	
Factor K codos 45° ^[25]	0,204	
Nº de curvas de 180°	1	
Factor K curvas 180° ^[25]	0,639	
Densidad aceite (ρ)	578	kg/m ³

Teniendo en cuenta estos parámetros, la pérdida de carga que resulta es de 2,33 bar.

El cálculo de la pérdida de carga de la línea de aceite utilizada para calentar el tanque T-04 se ha dividido en dos partes debido a que existen dos tramos de tubería. El tramo uno equivale a la tubería que va desde el tanque hasta los colectores, mientras que el tramo dos es el que equivale a la tubería que va desde los colectores a la bomba. Cada uno de estos tramos tiene un diámetro diferente y, además, en el primer tramo circulan 14 m³/h y en el segundo circulan 140 m³/h. Los parámetros necesarios para calcular la pérdida de carga en cada uno de los tramos se encuentran en las tablas 4.14 y 4.15.

Tabla 4.14. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga de la línea de aceite utilizada para calentar el tanque T-04 (tramo 1).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	14	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,0508	m
Velocidad (V)	1,92	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Altura (z ₂)	5	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	170	m
Nº de codos de 90°	14	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Densidad aceite (ρ)	758	kg/m ³

Teniendo en cuenta estos parámetros, la pérdida de carga que resulta es de 1,38 bar.

Tabla 4.15. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga de la línea de aceite utilizada para calentar el tanque T-04 (tramo 2).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	140	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,150	m
Velocidad (V)	2,13	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	50	m
Nº de codos de 90°	6	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Densidad aceite (ρ)	758	kg/m ³

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, la pérdida de carga es de 0,15 bar.

Por lo tanto, la pérdida de carga total del circuito de aceite es de 3,86 bar.

Habiendo calculado la pérdida de presión de cada tramo del circuito, se procede a calcular la potencia necesaria para bombear el producto a partir de la presión de aspiración obtenida del gráfico H-Q de la bomba P-03, y el caudal. La curva H-Q se puede encontrar en el Anexo A.8.2.

En la tabla 4.16 se encuentran los parámetros utilizados para calcular la potencia necesaria de la bomba para transportar el aceite a lo largo del circuito. Este circuito tiene en cuenta la línea de acompañamiento de aceite y la línea que va al tanque T-04.

Tabla 4.16. Parámetros utilizados para el cálculo de la potencia necesaria del circuito de aceite.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	140	m ³ /h
Presión de aspiración bomba	6,10	bar
Pérdida de presión en el circuito	3,86	bar
Presión total (p)	9,95	bar
Rendimiento de la bomba (η)	0,75	

Teniendo en cuenta estos parámetros, la potencia necesaria para poder bombear el aceite por todo el circuito estudiado es de 51,6 kW.

Sabiendo que la bomba utilizada tiene una potencia nominal de 45 kW, no sería adecuada para bombear el aceite a lo largo del circuito.

Con tal de disponer de una bomba capaz de transportar el aceite por el circuito estudiado, se ha planteado el cambio de rodete por uno más pequeño de 230 mm, ya que al disminuir el diámetro, la presión de aspiración necesaria será menor y por lo tanto se necesitará menos potencia para bombear el producto. Con este cambio de rodete y con el mismo caudal (140 m³/h), se obtiene una potencia necesaria de 42,2 kW. Disponiendo de 45 kW de la bomba, sería posible transportar el producto a lo largo del circuito. Los datos se pueden encontrar en el apartado A.8.2 en Anexos.

4.2.4. HazOp y miniLOPA^[26]

Para evaluar la seguridad de la operación de recirculación del betún se ha decidido realizar un HazOp y miniLOPA con el objetivo de identificar y evaluar los posibles riesgos que comportan ciertos escenarios operacionales.

Las variables que se ha decidido estudiar son: el nivel, el flujo, la presión, la temperatura y los *utilities*.

El presente estudio se ha hecho en base al *P&ID*: Recirculación de betún N° 8.2.

A continuación, se presenta el HazOp y la miniLOPA.

Palabra guía	Desviación	Causas	Consecuencias	C	F	R	Salvaguardas	C	F	R	Acciones
Más	Más nivel en el tanque T-04	Alineación inadecuada de la bomba P-09 con el tanque (en vez de impulsar hacia otro tanque, dirige el betún hacia el T-04).	Sobrellenado del tanque con posibilidad de que sobresalga producto del tanque a través del venteo.	2	-1	C	- Alarmas de alto nivel - Sonda de muy alto nivel - Operaciones supervisadas	1	-1	D	
Menos	Menos nivel en el tanque T-04	Alineación inadecuada de la bomba P-09 con el tanque (en vez de impulsar hacia el tanque, dirige el betún hacia otro)	Vaciado del tanque, podía provocar la cavitación de la bomba encargada de recircular el producto, deterioro del cierre mecánico y fuga producto al exterior.	2	-1	C	- Alarmas de bajo nivel - Sonda de muy bajo nivel - Operaciones supervisadas	1	-1	D	
No	No flujo en el tanque T-04	Fallo (cierre) HV-248 . Fallo (cierre) PCV-013	Aumento de la presión y posibilidad de cavitación de la bomba P-09 con deterioro del cierre mecánico y fuga de betún al exterior. Sobrepresión en las líneas de alimentación.	2	-2	C	- Válvula de recirculación interna de la bomba. - Protección eléctrica del motor de la bomba.	2	-4	D	- Añadir microposicionadores a la válvula HV-248 - Instalar transmisor de presión a la entrada del tanque.
		Fallo LSH (Lee mayor nivel del real)	Posibilidad de cavitación de la bomba P-09 con deterioro del cierre mecánico y fuga de betún al exterior.	2	-1	C	- Alarmas de alto nivel - Sonda de muy alto nivel - Operaciones supervisadas - Transmisor de nivel tipo radar.	1	-1	D	
Menos	Menos flujo en el tanque T-04	Fallo HV-248 Fallo PCV-013	Posibilidad de cavitación de la bomba P-09 con deterioro del cierre mecánico y fuga de betún al exterior.	2	-1	C	- Válvula de recirculación interna de la bomba. - Protección eléctrica del motor de la bomba.	1	-1	D	Instalar transmisor de presión a la entrada del tanque.

Más	Más flujo en el tanque T-04	No aplica									
Inverso	Flujo inverso en el tanque T-04	No aplica									
Más	Más presión en el tanque T-04	Fuego externo	Evaporación de los componentes volátiles que contiene. Aumento de presión.	2	-2	C	Sistema de venteo.	2	-5	D	
		Fallo caldera aceite (aceite térmico a más temperatura)	Evaporación de los componentes volátiles que contiene. Aumento de presión.	2	-2	C	- Sistema de venteo. - Transmisor de temperatura capaz de regular el suministro de aceite.	2	-5	D	
Menos	Menos presión en el tanque T-04	No aplica									
Más	Más temperatura en tanque T-04	Fuego externo	Ídem más presión.								
		Fallo caldera aceite (aceite térmico a más temperatura)	Ídem más presión.								
Menos	Menos temperatura en tanque T-04	Fallo (cierre) PCV-AI202 y/o cierre circuito de vapor	Solidificación del betún dentro del tanque y las líneas. Sin consecuencias de seguridad.								
No	No <i>utilities</i>	Fallo en el circuito de vapor.	Solidificación del betún dentro de las líneas. Sin consecuencias de seguridad.								
		Fallo en el circuito de aceite térmico	Ídem menos temperatura.								
As well as	Corrosión/ Erosión en T-04	Corrosión bajo aislamiento	Posible fuga de producto al exterior	2	-1	C	Programa de inspección en vigor.	1	-1	D	
		Erosión en tubos por choque directo de aceite	Rotura del tubo del sistema de calentamiento del tanque	2	-4	D					

5. ESTUDIO CONSUMO ENERGÉTICO

En el presente apartado se trata de estudiar el consumo de gas que se suministra a la caldera de vapor y aceite con el objetivo de detectar aquellos días de mayor consumo y establecer un valor fijo para la arrancada semanal de la planta. La arrancada tiene lugar los domingos a las 22.00 horas y se sabe que las 24 horas posteriores son las que suponen un pico de consumo mayor. Este procedimiento tiene como consecuencia un elevado coste en todas las facturas mensuales, ya que el término fijo de la factura de gas se calcula a partir del día de mayor consumo del mes, que siempre corresponde a los lunes.

La razón por la cual el consumo del lunes es superior es debido a que la planta se para los viernes y durante este periodo de tiempo, las calderas se encuentran apagadas. Por lo tanto, no hay suministro de calor a las diferentes áreas de la planta. Esto supone un descenso de unos 10°C en las líneas de vapor. Tal como se ha dicho anteriormente, del domingo a las 22:00 horas hasta el lunes a una hora determinada, las calderas se mantienen encendidas con el propósito de volver a calentar las líneas y equipos, lo que supone un gran consumo.

Con la finalidad de mitigar el pico de consumo de los lunes y poder reducir el término fijo en la factura de gas, se han propuesto medidas para cambiar el procedimiento de puesta en marcha de la planta.

5.1. Equipos implicados en el consumo

Como se ha explicado anteriormente, el gas natural suministrado a la planta es consumido principalmente por las 3 calderas de aceite y la caldera de vapor.

La función de las calderas de aceite es producir aceite a 220°C. Este aceite circula dentro de un serpentín que se encuentra situado dentro los tanques para mantener el betún y otras sustancias almacenadas.

La caldera de vapor genera vapor saturado a 150°C y una presión de 5 kg/cm². Este vapor se utiliza para el calentamiento de las líneas de toda la planta. También cabe destacar que parte del vapor utilizado es proveniente de ASES, aunque este vapor, debido a ser de una presión baja (2,5 a 3,5 kg/cm²) solo se puede utilizar para el arranque de los domingos, es decir, solamente es utilizado para el seguimiento las líneas.

5.2. Consumo de gas mensual

Con tal de proponer medidas para el ahorro energético y la disminución de costes semanales de la planta, primero se ha estudiado el consumo de los años 2018, 2019 y 2020, tal y como se muestra en los gráficos de la figura 5.1, 5.2 y 5.3.

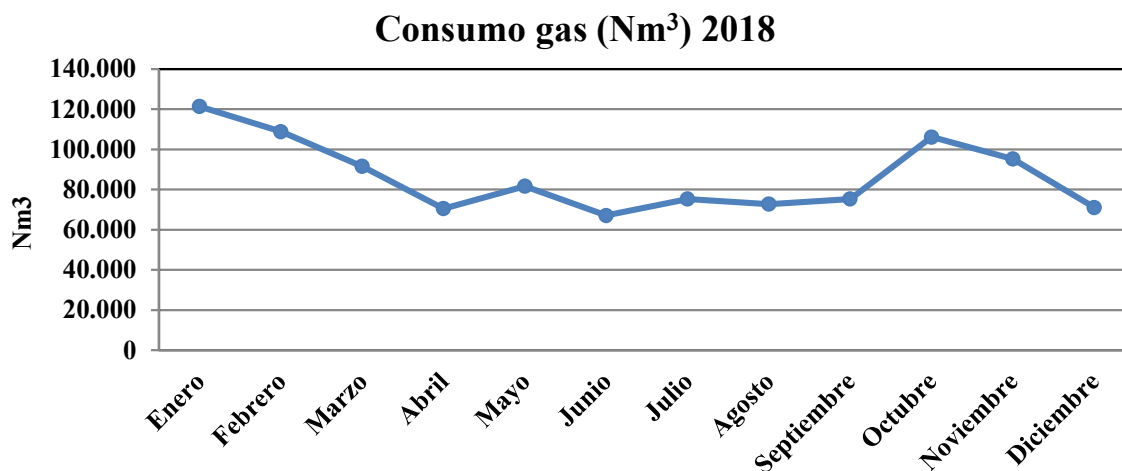


Figura 5.1. Representación gráfica del consumo total de gas (Nm³) en 2018.

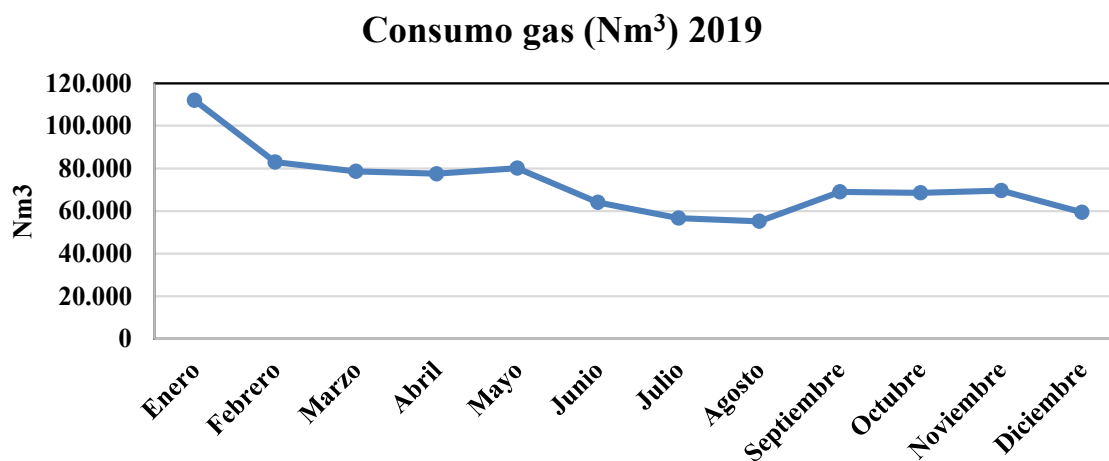


Figura 5.2. Representación gráfica del consumo total de gas (Nm³) en 2019.

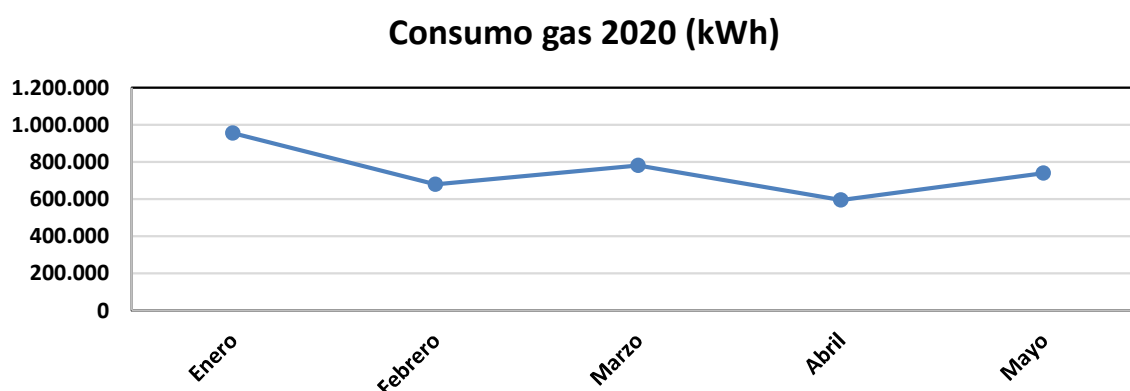


Figura 5.3. Representación gráfica del consumo total de gas (Nm³) en 2020.

En estos gráficos se puede observar el consumo total de gas en Nm³ de los años 2018, 2019 y 2020. Los dos tienen en común que registran los mayores valores en los meses de invierno como enero y febrero, y los valores más bajos en los meses de verano como junio, julio y agosto.

Esto es debido a que el consumo depende en gran parte de la temperatura ambiente. En los meses de invierno, al tener una temperatura promedio más baja, se tiene que aportar más cantidad de vapor para calentar las líneas y equipos que lo necesitan. En cambio, en verano, al tener una temperatura promedio más alta, se necesita menos aporte de vapor para mantener la planta operativa. Otro factor del cual depende el consumo en menor porcentaje es de las salidas. Cuántas más salidas, menor es el consumo de energía ya que ASESА bombea el producto caliente. Consecuentemente, como en verano es el periodo del año dónde más demanda hay, el consumo de energía es menor.

5.3. Consumo de gas diario

Como se ha mencionado anteriormente, los lunes son los que representan el mayor consumo semanal. Esto queda claramente reflejado en lo gráficos 5.4 al 5.7. Estos gráficos se han escogido solamente para ejemplificar lo dicho anteriormente. El consumo del resto de meses se puede consultar en anexo A.2.

Consumo gas mayo 2019

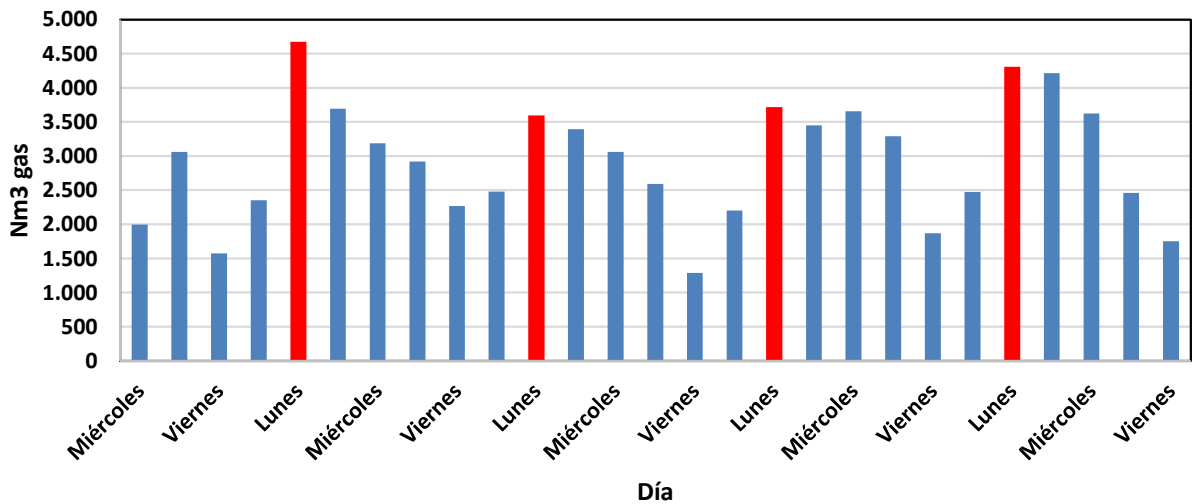


Figura 5.4. Representación gráfica del consumo diario de gas Nm³ en mayo 2019.

Consumo gas julio 2019

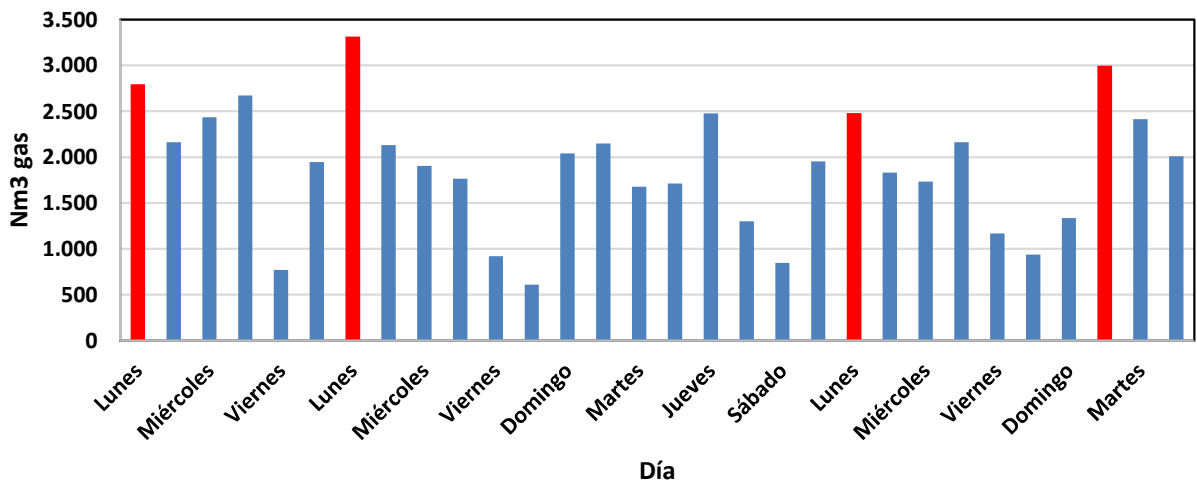


Figura 5.5. Representación gráfica del consumo diario de gas Nm³ en julio 2019.

Consumo gas marzo 2018

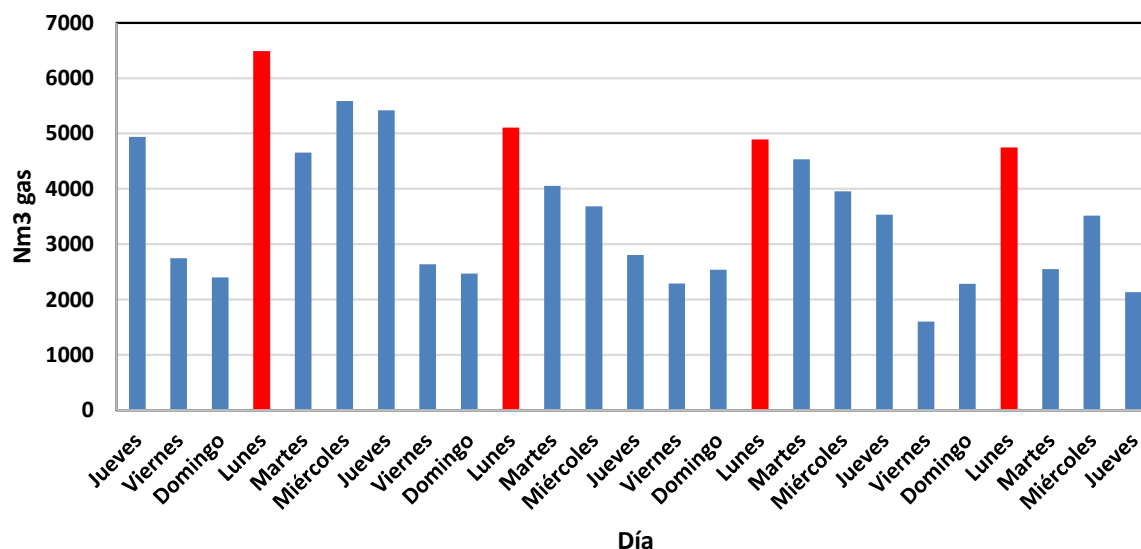


Figura 5.6. Representación gráfica del consumo diario de gas Nm³ en marzo 2018.

Consumo gas febrero 2020

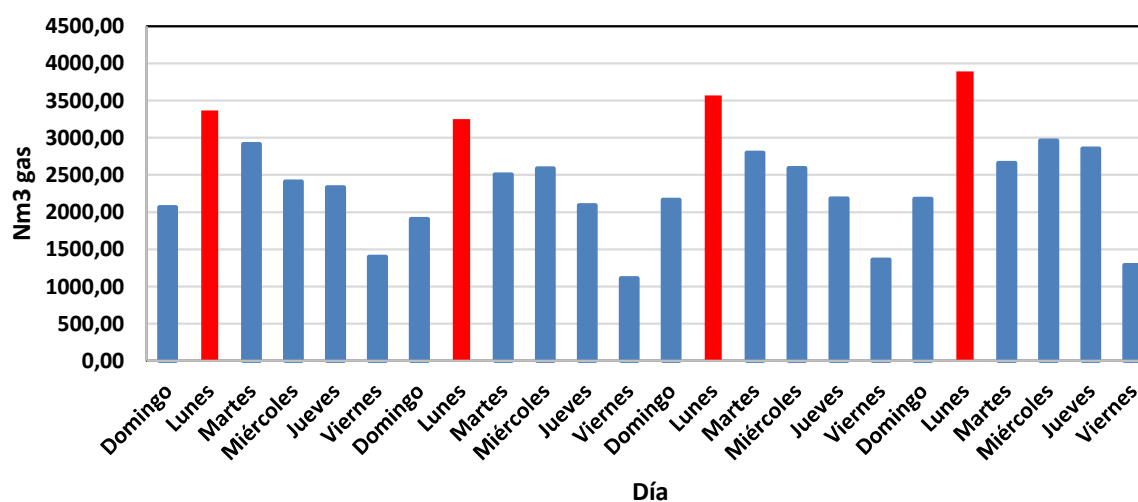


Figura 5.7. Representación gráfica del consumo diario de gas (Nm³) en febrero 2020.

En los gráficos se puede observar como el mayor valor de consumo de gas se registra en lunes y el menor en viernes, coincidiendo tanto en 2018, 2019, y 2020. Esto es debido a que la planta para los viernes, y vuelve a reanudar el suministro el domingo por la noche para volver a calentar todas las tuberías y tanques necesarios para la puesta en marcha de los lunes.

5.4. Potencia contratada

A lo largo de 2018, 2019 y lo que se lleva de 2020, la empresa ha ido variando la potencia contratada según el consumo necesario tal y como se puede observar en las tablas 5.1, 5.2 y 5.3.

Tabla 5.1. Potencias contratadas/máximas en los meses de 2018.

Mes	Potencia contratada (kWh/día)	Potencia máxima consumida (kWh/día)
Enero	70.000	75.139
Febrero	65.000	78.115
Marzo	65.000	76.134
Abril	65.000	70.992
Mayo	65.000	68.893
Junio	65.000	53.827
Julio	65.000	53.212
Agosto	70.000	52.932
Septiembre	70.000	62.579
Octubre	70.000	78.210
Noviembre	70.000	76.124
Diciembre	70.000	70.440

Tabla 5.2. Potencias contratadas/máximas en los meses de 2019.

Mes	Potencia contratada (kWh/día)	Potencia máxima consumida (kWh/día)
Enero	70.000	71.052
Febrero	70.000	63.697
Marzo	70.000	62.441
Abril	70.000	69.834
Mayo	70.000	54.739
Junio	70.000	47.437
Julio	70.000	38.584
Agosto	70.000	40.040
Septiembre	70.000	47.751
Octubre	70.000	44.955
Noviembre	70.000	49.407
Diciembre	70.000	57.650

Tabla 5.3. Potencias contratadas/máximas en los meses de 2020.

Mes	Potencia contratada (kWh/día)	Potencia máxima consumida (kWh/día)
Enero	70.000	61.202
Febrero	70.000	44.994
Marzo	70.000	50.322
Abril	50.000	46.008

Como se puede ver en las tablas, en ningún mes se cumple con la potencia contratada, o se sobrepasa o se queda por debajo. Esto supone un aumento en el coste de la factura de gas, al cual se le aplica las siguientes fórmulas:

Si $Q_{\text{máx}} > 105\% Q_{\text{d}} \text{ contratada} \rightarrow Q_{\text{d}} \text{ aplicar} = Q_{\text{máx}} + 2 (Q_{\text{máx}} - 1,05 Q_{\text{d}} \text{ contratada})$.

Si $Q_{\text{máx}} \leq 85\% Q_{\text{d}} \text{ contratada} \rightarrow Q_{\text{d}} \text{ aplicar} = 85\% Q_{\text{d}} \text{ contratada}$.

Por ello, era importante hacer un estudio sobre el ajuste de la potencia contratada con el objetivo de evitar dicho aumento.

5.5. Medidas de ahorro energético/económico

Una vez analizados todos los datos obtenidos de la facturación en concepto de gas consumido por la planta, se han propuesto las siguientes medidas:

1. Optimizar la utilización de los tanques, ya que en verano se habilitan los tanques T-61 y T-62. Ver de qué tanques se puede prescindir durante invierno, aislando aquellas zonas que no son necesarias y, por lo tanto, también se hará una reducción energética.
2. Reducir las temperaturas de los *setpoint*.
3. Seguir calentando las tuberías durante el fin de semana, al menos con el vapor de ASESА para así no tener que gastar tanto calentando de nuevo las líneas.
4. Reducir el tiempo en el que las calderas están encendidas. Por ejemplo, los lunes dejar las calderas encendidas hasta las 12 y luego ir parando. O intentar directamente trabajar con 2 calderas en vez de 3.

Con esto se conseguiría reducir las horas en las que las calderas están en marcha y por lo tanto supondría también una reducción del consumo de gas. Como consecuencia, se conseguiría una reducción del coste mensual en las facturas.

5. Sectorizar circuitos de aceite para que una caldera se utilice expresamente para una planta y suministre más energía cuando sea necesario.
6. Sectorizar las distintas partes de la planta a partir de válvulas automáticas para así poder hacer uso del vapor de ASESА por una zona al mismo tiempo que se utiliza el propio vapor generado en otras áreas de la planta.
7. Reducir la potencia contratada en los meses de verano ya que se consume menos. Esta opción no resulta práctica ya que solo se puede reducir la potencia una vez al año. También, se ha descartado porque es independiente de si es verano o invierno para que el mayor valor de consumo se dé el lunes debido al arranque y, por lo tanto, como la potencia aplicada en las facturas corresponde a la potencia máxima del mes, se pasaría de la potencia contratada.
8. Utilizar una herramienta KPI para establecer un seguimiento del consumo a tiempo real. Esto supondrá una reprogramación en el *display* del contador de consumo de gas el cual dispondrá de una alarma que se activará cuando se lleve el 50% y 80% de la potencia contratada consumida.
9. Añadir un caudalímetro a la corriente de vapor proveniente de ASESА con tal de registrar el caudal y poder verificarlo.

A continuación, se presentan detalladamente las medidas que se han estudiado con más profundidad.

5.6. Propuesta para la puesta en marcha

Analizando los datos de estos 3 años, se ha podido ver que el 23% del consumo de gas anual corresponde a los lunes. Por esta razón, se busca reducir el consumo energético de tal forma que el día de consumo máximo (lunes) bajen. Por ello, se ha intentado establecer un consumo para la arrancada (domingo a las 22 horas hasta el lunes a las 24 horas). Para fijar dicho consumo, se ha tenido que calcular el promedio de consumo diario teniendo en cuenta los días de mayor consumo (martes, miércoles y jueves), descartando los festivos. El viernes es descartado ya que la planta para la producción. Los datos que se han obtenido se reflejan en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Promedio diario del consumo de gas por año.

	Promedio consumo total		Promedio consumo lunes	
	Nm ³	kWh	Nm ³	kWh
2018	3.859	44.383	5.105	59.456
2019	3.177	36.540	4.050	47.666
2020	3.210	37.314	3.955	45.828

Como se puede ver en la tabla 5.4, el consumo de los lunes durante los tres años es superior a al promedio total del resto de días.

Cabe destacar la bajada que experimenta el consumo del 2018 al 2019. Esto es debido a las medidas de eficiencia energética que la propia empresa ha ido implantando durante los últimos años.

Una vez encontrado el promedio de consumo total anual, se ha podido establecer el consumo fijo para la arrancada teniendo en cuenta un 10% más en el promedio de consumo de 2018, y esto resulto en un consumo de 4.245 Nm³.

Con tal de poder cumplir con el objetivo de los 4.245 Nm³ para la puesta en marcha de la planta, se ha diseñado una consecuencia de arranque para las tres calderas de aceite y la de vapor, tal y como se presenta en la tabla 5.6.

Primero, para poder proponer una secuencia de arranque, se ha tenido que averiguar el consumo de cada caldera individualmente (Nm³/h). Para ello se han analizado varios días de arranque semanal. Las tablas con el consumo y la secuencia de funcionamiento de las calderas se puede consultar en el anexo A.3. A partir de los datos obtenidos, se ha podido realizar la tabla 5.5.

 Tabla 5.5. Datos de horas de funcionamiento de calderas y consumo total (Nm³) de gas de varios días del mes de marzo de 2020.

	Domingo 8	Domingo 15	Domingo 22	Miércoles 18	Jueves 19
Caldera 1	24	24	24	24	24
Caldera 2	24	24	24		24
Caldera 3			10	24	
Caldera vapor	21	11	11	6	11
Consumo	4.987	4.068	4.050	3.318	3.232

Como se puede ver en la tabla 5.5, la consecuencia que se sigue los domingos 15 y 22 se acerca más a nuestro target fijado para los lunes. Por ello, se ha decidido estudiar estos dos días y a partir de estos calcular el promedio de consumo de cada caldera. Los cálculos se pueden consultar en el anexo A.4.

El consumo de las calderas se puede ver en la tabla 5.6 juntamente con la consecuencia de arranque propuesta.

Tabla 5.6. Horas de funcionamiento y consumo en Nm³ de cada caldera durante el arranque.

Hora	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3	Caldera vapor	Total consum Nm ³
1:00	70	70		70	211
2:00	70	70		70	211
3:00	70	70		70	211
4:00	70	70		70	211
5:00	70	70		70	211
6:00	70	70		70	211
7:00	70	70		70	211
8:00	70	70		70	211
9:00	70	70		70	211
10:00	70	70		70	211
11:00	70	70		70	211
12:00	70	70		70	211
13:00	70	70			141
14:00	70	70			141
15:00			141		141
16:00			141		141
17:00			141		141
18:00			141		141
19:00			141		141
20:00			141		141
21:00			141		141
22:00			141		141
23:00			141		141
00:00			141		141

El consumo total es de 4.214 Nm³ que equivale a un total de 48.545 kWh.

5.7. Reducción de la potencia contratada

Como se ha explicado detalladamente en el apartado 5.6, se ha llevado a cabo un estudio del consumo total de las calderas durante el arranque. Debido a que el arranque es lo supone el mayor valor de consumo, se ha partido de este valor para contratar una potencia determinada a partir de este momento.

El consumo de gas es de 4.214 Nm³, lo que supone un consumo total de 48.545 kWh. Por esta razón se ha determinado contratar una potencia de 50.000 kWh/mes.

Como consecuencia al cambio, se ha visto necesario calcular al ahorro que hubiese supuesto tener una potencia contratada de 50.000 kWh/día en los años 2018, 2019 y lo que se lleva de 2020. Solo se ha tenido en cuenta el ahorro en el coste fijo, ya que se da por hecho que lo que se deja de gastar el lunes se gasta el resto de semana, por lo que el consumo variable no se puede estimar. El hecho de que lo que se deja de gastar el lunes se gaste el resto de semana es debido a la necesidad de llegar a la temperatura de *setpoint* de los betunes almacenados.

Este ahorro se encuentra reflejado mensualmente en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9.

Tabla 5.7. Ahorro mensual (€) en 2018.

2018	Qd aplicada		Nueva Qd contratada		Ahorro (€)
	(kWh/día)	Importe (€)	(kWh/día)	Importe (€)	
Enero	78.419	5.915	50.000	3.771	2.143
Febrero	97.846	7.380	50.000	3.771	3.609
Marzo	91.904	6.932	50.000	3.771	3.160
Abril	76.478	5.768	50.000	3.771	1.997
Mayo	70.179	5.293	50.000	3.771	1.522
Junio	55.250	4.167	50.000	3.771	396
Julio	55.250	4.167	50.000	3.771	396
Agosto	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Septiembre	62.579	4.720	50.000	3.771	948
Octubre	87.632	6.610	50.000	3.771	2.838
Noviembre	81.373	6.138	50.000	3.771	2.366
Diciembre	70.440	5.313	50.000	3.771	1.541
TOTAL		66.896		45.258	21.637

Tabla 5.8. Ahorro mensual (€) en 2019.

2019	Qd aplicada		Nueva Qd contratada		Ahorro (€)
	(kWh/día)	Importe (€)	(kWh/día)	Importe (€)	
Enero	71.052	5.359	50.000	3.771	1.588
Febrero	63.697	4.804	50.000	3.771	1.033
Marzo	62.441	4.710	50.000	3.771	938
Abril	69.834	5.267	50.000	3.771	1.496
Mayo	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Junio	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Julio	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Agosto	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Septiembre	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Octubre	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Noviembre	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Diciembre	59.500	4.488	50.000	3.771	716
TOTAL		56.047		45.258	10.788

Tabla 5.9. Ahorro mensual (€) en 2020.

2020	Qd aplicada		Nueva Qd contratada		Ahorro (€)
	(kWh/día)	Importe (€)	(kWh/día)	Importe (€)	
Enero	61.202	4.616	50.000	3.771	845
Febrero	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Marzo	59.500	4.488	50.000	3.771	716
Abril	46.008	3.470	50.000	3.771	-301
TOTAL		17.063		15.086	1.977

Se ha calculado que el ahorro del coste fijo del año 2018 es de 21.637€, suponiendo un 32% del coste fijo real. El ahorro del coste fijo del año 2019 es de 10.788€, suponiendo un 19% del coste fijo real. El ahorro del coste fijo de lo que se lleva de año 2020 es de 1.977€, lo que

equivale a un 12% del coste fijo real. También se tiene que añadir que, a partir del mes de abril, ya se implementó la propuesta de reducir la potencia contratada a 50.000 kWh y se puede observar que la potencia aplicada fue un valor por debajo de este y que, por lo tanto, se redujo el coste de la factura de gas. Consecuentemente, como se ve en la tabla, no se observa ningún ahorro por lo que respecta a este mes.

Esto significa que, si se consigue que el consumo total no supere los 50.000 kWh/día, el coste total se reduciría considerablemente.

5.8. Comparación vapor ASESА y vapor de producción propia

Se trata de realizar una comparación entre el coste del vapor producido por ASESА y el propio. Se sabe con antelación que el vapor de ASESА tiene un coste mucho menor que el producido por la caldera propia, pero la diferencia de coste es debida a las condiciones del vapor suministrado. En la tabla 5.10. se muestra los datos de cada tipo.

Tabla 5.10. Condiciones y funcionamiento de ambas fuentes de vapor

	Presión de suministro (bara)	Caudal (kg/h)	Horas funcionamiento /semana
Vapor ASESА	2,5-3,5	411	108
Vapor Cepsa	5	1.500	72

Como se puede ver en la tabla, el vapor de ASESА es de baja presión, la cual no es suficiente para el arranque semanal de la planta ni para el buen funcionamiento de algunos equipos. La planta para el suministro de su propio vapor el viernes a las 10 de la noche, y durante el sábado y domingo hasta las 22 horas mantiene la temperatura de las líneas mediante el vapor suministrado por ASESА. Pero, aun así, la temperatura baja unos 10°C en los tanques. Por ello, es necesario el aporte de un vapor propio a una mayor presión y, una vez alcanzados los *setpoint* en los tanques de almacenamiento y líneas, se puede utilizar el de ASESА para mantener dicha temperatura.

A continuación, se muestra la comparación de coste de ambas fuentes de suministro de vapor. El cálculo de obtención de los datos se muestra en el anexo A.6.

Tabla 5.11. Coste por tonelada de vapor generada y coste por horas de funcionamiento.

	(€/T)	(€/h)
Vapor ASESА	17,32	7,12
Vapor Cepsa	22,57	33,87

Como se puede ver, el precio por tonelada del vapor de ASESА cuesta 5,25 € menos que el producido por la propia empresa. También, referente al coste por horas de uso, es más barato el vapor de ASESА, y eso es debido a la calidad del vapor. Concretamente, cuesta un 79% menos que el que se produce por Cepsa. Por ello, se ha de intentar utilizar lo máximo posible el vapor de ASESА durante la semana, que es cuando el proceso de producción y almacenaje de betún es estable y no se necesita un caudal (presión) alto de vapor.

5.9. Elección de caudalímetro

Como se ha comentado en varias ocasiones, la empresa Cepsa necesita vapor para mantener varios de sus productos a cierta temperatura. Parte de este vapor, les es suministrado por la empresa ASES. Hasta el momento actual, la empresa no tenía ningún tipo de autocontrol sobre la cantidad que les llega de vapor. Por ello, se ha decidido implantar un contador en la línea de vapor proveniente de ASES.

A continuación, se presenta las características generales que se han tenido en cuenta en la elección del contador:

Tabla 5.12. Condiciones de operación y ubicación del contador.

Fluido	Vapor saturado
Rango presión	2,5-3,5 kg/cm ²
Rango caudal	200-500 kg/h
Caudal trabajo	400 kg/h
Pérdida de carga máxima permitida	0,2 kg/cm ²
Tubería donde iría instalado	2 inch
Tubería donde iría instalado	50,8 mm
Material tubería	ANSI B36.10
Schedule Tubería	Schedule 40

Teniendo en cuenta que el fluido a medir es vapor saturado cuya presión oscila entre los 2,5 a 3,5 bar, con un caudal normal de trabajo de 400 kg/h, la tubería por donde circula es de DN50 y la pérdida de carga máxima permitida es de 200 mbar, se ha buscado varios contadores que cumplan con dichas condiciones.

El contador que mejor se ajustaba es el medidor de caudal TFA para vapor saturado cuyas características se han resumido en la tabla 5.13. y su hoja técnica se puede consultar en el anexo A.7.

Tabla 5.13. Características del contador seleccionado.

Marca	Spirax sarco
Modelo	TI-P193-01
Rango caudal	55-550 kg/h
FSD	0,2%
Pérdida de carga	0,166 kg/cm ²
Presión máxima admisible	32 kg/cm ²
Temperatura máxima admisible	239 °C
Material	Acero inoxidable serie 300
Schedule	Schedule 40
Señales de salida	4-20 mA

Este medidor de flujo tiene un coste de 2.326 € sin incluir el cableado necesario para establecer la conexión con el DCS. Como se puede comprobar en la hoja técnica del caudalímetro, este viene acompañado por una pantalla, la cual sirve para poder ver toda la información en campo; esta tiene un coste extra de 724 €.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

A lo largo del proyecto se han ido desarrollando varias mejoras con el objetivo de aumentar la eficiencia y el control del proceso operativo.

A continuación, se procede a presentar el coste de las mejoras propuestas en el circuito de vapor, el rediseño de la línea de recirculación de betún, y el cambio de la estación de llenado. También se explicarán los ahorros conseguidos al aplicar la reducción de la potencia contratada.

En el anexo A.9.1 se explican detalladamente las consideraciones que se han tenido en cuenta para el coste de los materiales y las diferentes actividades que se llevan a cabo para realizar las mejoras propuestas.

6.1. Coste de mejoras propuestas

En la estimación de coste de las mejoras propuestas se ha tenido en cuenta principalmente los materiales, instrumentos, equipos, mano de obra, horas de ingeniería, legalizaciones y certificados. Para determinar el coste de los diferentes instrumentos se ha contactado con varias empresas con el objetivo de obtener varias ofertas, compararlas y poder elegir la más viable.

A continuación, se presentan el coste detallado de cada propuesta en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3.

Tabla 6.1. Presupuesto para la mejora en el circuito de vapor.

	Precio/unidad		Unidad	Total
Válvula de bola 1"	389	€/unidad	8	3.112
Válvula de bola 3/8"	366	€/unidad	2	733
Válvula de bola 3"	1.683	€/unidad	2	3.366
Válvula antirretorno	558	€/unidad	1	558
Válvula de bola manual	17	€/unidad	1	17
Caudalímetro	2.326	€/unidad	1	2.325
Transmisor ¹ de presión y temperatura			32	8.022
Ingeniería	125	€/hora	80	10.000
Instalación	55	€/hora	120	6.600
Legalizaciones				5.000
Total				39.735

Tabla 6.2. Presupuesto para el rediseño de la recirculación de betún.

	Precio/unidad		Unidad	Total
Tuberías de acero inoxidable AISI 316L + accesorios ^[28]	23	€/m	20	354
Hormigón armado	408	€/m ³	4	1.632
Válvula manual	389	€/unidad	2	778
Microposicionadores	39	€/unidad	4	158
Bomba	10.095	€/unidad	1	10.095

¹ En la tabla A.9.1 correspondiente al apartado A.9 en los anexos se encuentra con detalle el precio de cada tipo de transmisor.

Ingeniería	125	€/hora	40	5.000
Mano de obra	55	€/hora	46	25.300
Grúa elevadora	450	€/día	4	1.800
Camión hormigonera	240	€/día	4	960
Camión transporte	140	€/día	2	280
Desmantelamiento de la anterior línea				6.000
Legalización y certificados				5.000
Total				57.358

Tabla 6.3. Presupuesto para el cambio de estación de llenado de betún.

	Precio/unidad		Unidad	Total
Bomba ^[29]	10.095	€/unidad	1	10.095
Desmontaje				10.000
Válvulas	389	€/unidad	2	778
Instalación				10.000
Ingeniería	125	€/unidad	56	7.000
Legalización y certificados				2.000
Total				39.873

Las propuestas comentadas tendrán un coste total aproximado de **136.967€**. Se ha podido comprobar que de media el 60% del coste total corresponde a la ingeniería e instalaciones, y el 30% en equipos, instrumentos y materiales. Como estos costes son costes indirectos en referencia a los procesos de producción, no se puede calcular un beneficio directo, pero aun así estas mejoras representan un impacto directo en las mejoras en la producción.

Las mejoras en el circuito de vapor no tienen una rentabilidad directa, pero mejoran el rendimiento del sistema de vapor eliminando un depósito abierto a la atmósfera donde se podía contaminar el agua que alimenta la caldera. Además, al automatizar el proceso permite conseguir más con menos recursos y eficiencia operativa.

En el caso de la recirculación del betún, supone mayor seguridad en la calidad del producto evitando de este modo el rechazo de pedidos por parte del cliente. En el caso comentado anteriormente del rechazo de la demanda de Canarias de las 2.000 toneladas de betún porque estaba fuera de especificación, se ha tenido que devolver el betún a ASESa además de pagar una indemnización de 20.000 € por la paralización del barco donde se iba a entregar ya que este no ha podido ser cargado.

En cuanto al cambio de la estación de llenado de betún, supone una reducción de 4 días por ciclo o demanda de esta actividad además de dejar disponible dos tanques (T-54 y T-55) que se pueden aprovechar para almacenar otros materiales.

Vistos los beneficios se puede concluir que estas mejoras suponen una inversión justificable vistas las carencias y desperdicios en algunos procesos.

6.2. Ahorro por la reducción de potencia contratada

En cuanto al ahorro conseguido en la implantación de la reducción de potencia contratada se ha calculado que se ahorrará anualmente un promedio del 25% en el importe debido a la potencia contratada. Se tiene que remarcar el hecho de que cada año el coste por consumo energético se ha visto reducido debido a las mejoras continuas que se han ido implementando. El ahorro anual se puede ver en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Cálculo del ahorro con el cambio de la potencia contratada.

Año	Importe ² (€)	Ahorro (€)	Ahorro (%)
2018	66.896	21.638	32
2019	56.047	10.789	19
2020 ³	20.910	2.053	10

6.3. VAN y TIR en la recirculación de betún

Tal y como se ha explicado anteriormente, se ha propuesto una mejora a lo que respecta la recirculación del betún que ayudará a aumentar la seguridad referente a la calidad del betún. Será menos probable que el betún almacenado en el tanque T-04 sufra una estratificación y como consecuencia, esté fuera de especificación. Esto supondrá un beneficio ya que se evitará tener que pagar la indemnización procedente de la paralización del barco con intenciones de cargar este betún y enviarlo a las Islas Canarias.

Por este motivo, se ha visto necesario calcular el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) del proyecto, suponiendo un flujo de caja de 20.000 € anuales y una rentabilidad del 10%, con tal de comprobar si será viable o no. Los cálculos se encuentran en el apartado A.9.1 en Anexos.

Los datos utilizados para calcularlos se encuentran en la tabla 6.5.

Tabla 6.5. Parámetros utilizados para el cálculo del VAN y el TIR.

Parámetro	Valor
Rentabilidad (%)	10
Inversión inicial (€)	58.000
Flujo de caja anual (€)	20.000
Años	4

A partir de estos parámetros, se ha calculado un VAN de 5.397 € y un TIR del 14%.

Si analizamos estos valores, se podría decir que este proyecto será viable en caso de que el rediseño de recirculación propuesto sea eficiente, consiguiendo así que el betún almacenado en él se encuentre dentro de las especificaciones, y tenga una durabilidad mínima de 4 años. Por debajo de este tiempo, es decir, si se considera una durabilidad de 3 años, el VAN será negativo y, por lo tanto, el proyecto no generará beneficios, por lo que no podría considerarse viable.

² El importe representa el coste que se paga por la potencia aplicada, lo que representa el coste fijo de la factura de gas.

³ Este periodo comprende de enero hasta abril de 2020.

7. CONCLUSIONES

Se empezó con un estudio sobre el *Lean Management* y sobre las herramientas que lo caracterizan con tal de familiarizarse con ellas, entenderlas, y poderlas aplicar posteriormente. De aquí se puede extraer la gran utilidad que aporta esta metodología aplicada para la buena gestión y la optimización de todos los recursos y procesos de la planta. Gracias a la aplicación de esta metodología en los diferentes procesos y en las diferentes plantas de la empresa, se han optimizado algunos de los procesos prescindiendo de todos los elementos que no aportaban valor, implementando pequeños cambios y consiguiendo mejoras continuas que ayudan a aumentar la calidad y la eficiencia de la planta.

Esto se ha podido observar en las tareas realizadas de la aplicación de las 5S, el estudio del consumo energético, los partes de fabricación y la aplicación del *Value Stream Mapping* (VSM). Primeramente, se aplicó la técnica de las 5S en una zona de casa y seguidamente, se hizo una extrapolación a escala industrial para ver sus efectos en el día a día de una empresa. Esta tarea ayudó a concienciarse acerca del gran valor que tiene esta herramienta en lo que respecta a la buena gestión.

En el estudio del consumo energético, se propuso implantar un contador de gas para controlar el consumo diario de gas que se suministra a la caldera. Se trata de una herramienta Kanban visual que se utilizó con el propósito de producir la cantidad deseada empleando el tiempo necesario con la ayuda de señales visuales, en este caso el *display* del contador de gas, que regulan la demanda de producción.

También se utilizó la herramienta TQM o Jidoka en la realización de partes de fabricación, una herramienta para poder autocontrolar la calidad del proceso de fabricación de betún modificado. Además, a partir de la digitalización de este, se aseguró la trazabilidad de los partes y se facilitó el trabajo a los operarios.

Por lo que respecta a la aplicación del VSM, se aplicó en el proceso de enfriamiento y llenado de betún en Big Bags. Esta herramienta es muy útil para mejorar el proceso que se está estudiando a partir de la realización de un mapa actual en el cual se detectan las ineficiencias del proceso y se construye un mapa futuro con las mejoras aplicadas.

Seguidamente se aplicó de nuevo esta filosofía para el proceso de producción de vapor. Se hizo un estudio sobre el proceso actual y se detectaron varias mejoras por lo que se dispuso a aplicarlas. Una de estas mejoras fue eliminar el tanque T-X40 porque no aportaba utilidad al proceso, y se sustituyó por el tanque T-103 el cual consta de una mayor capacidad. Con esta acción se logra mejorar la eficiencia y calidad. También, se decidió automatizar alguna de las válvulas manuales con tal de mejorar la dinámica de trabajo al poderlas manejar desde cuadro de control. Asimismo, se sectorizaron las plantas a partir de válvulas automáticas que, en el caso de que alguna de las zonas se encontrara inhabilitada, cerraran el paso de vapor a estas. Además, se han aumentado los transmisores de presión y temperatura con tal de conseguir un mejor control del proceso.

Por lo que respecta al control del proceso, se hizo un estudio y se investigaron e implantaron las lógicas de control (enclavamientos) que podían ser necesarias con la nueva configuración.

Una vez estudiado y mejorado el circuito de vapor, se procedió a examinar el sistema de recirculación de betún en el Tanque T-04. Se partía de la problemática de que el betún se encontraba fuera de especificación por una mala recirculación de este. Como mejora propuesta, se decidió retornar el betún a 1 metro respecto la altura total del tanque (a 15 metros del suelo) ya que anteriormente retornaba a 250 milímetros respecto el suelo y no se conseguía una buena

homogenización del producto. Al cambiar la altura de retorno, se consigue un mayor movimiento del betún dentro del tanque y por lo tanto se asegura que quede homogéneo.

Respecto al sistema de control en el tanque, se realizó un HazOp y miniLOPA con tal de evaluar los riesgos de seguridad de la operación de recirculación para prever posibles acciones que se necesitaran implementar en caso de que no lo cubriesen las salvaguardas ya establecidas. Como conclusión, se vio necesario aplicar las acciones siguientes: añadir microposicionadores a la válvula HV-248 e instalar un transmisor de presión a la entrada del tanque en caso de no flujo, e instalar un transmisor de temperatura que regule el suministro de aceite térmico en caso de más presión o temperatura en el tanque.

Esta tarea también requirió el cálculo de la pérdida de carga y la potencia necesaria para poder comprobar que la bomba P-09 fuera capaz de bombear el betún por el sistema de recirculación. La pérdida de presión calculada fue de 1,74 bar, y la potencia necesaria para bombear el producto fue de 19,6 kW. Teniendo en cuenta que la bomba utilizada tiene una potencia nominal de 30 kW, sería adecuada para transportar el betún a lo largo de la recirculación. Al igual que es necesario calcular estos parámetros para el betún, es necesario calcularlos para el aceite que se utiliza para calentar las líneas y el tanque. La pérdida de carga calculada fue de 3,86 bar y la potencia necesaria fue de 51,6 kW. Al disponer de la bomba P-03 con una potencia nominal de 45 kW, se comprobó que esta bomba no sería capaz de transportar el aceite a lo largo del circuito. Como solución, se propuso cambiar el rodete de la bomba por uno más pequeño de 230 mm ya que, al disminuir el tamaño, la presión de aspiración necesaria será menor y por lo tanto se necesitará menos potencia para bombear el producto. Con este cambio de rodete, se obtuvo una potencia requerida de 42,2 kW, lo que haría apta la bomba P-03 para esta acción.

Una de las tareas más significativas fue el estudio del consumo energético de la planta. Se examinó el consumo de gas diario y mensual con tal de detectar aquellos días de mayor consumo y poder disminuirlo. Respecto al consumo diario, se comprobó que los lunes representan el mayor consumo semanal y el viernes el menor, debido a que la planta para los viernes y vuelve a reanudar el suministro el domingo por la noche para volver a calentar todas las líneas y tanques necesarios para la puesta en marcha de los lunes. Respecto al consumo mensual, se comprobó que el mayor valor se registra en los meses de invierno y los valores más bajos se registran en los meses de verano. Esto es debido a que el consumo depende tanto de la temperatura ambiente como de las salidas, este último en menor porcentaje. En los meses de invierno, al tener una temperatura media más fría, se necesita una cantidad más elevada de vapor para calentar las líneas y equipos necesarios. En cambio, en los meses de verano, al tener una temperatura media más cálida, se necesita un aporte menor para mantener la planta operativa. En cuanto a las salidas, se registran más en los meses de verano. Debido a que ASESА bombea el producto en caliente, el consumo es menor en verano debido a que hay más demanda. En cambio, al haber menos demanda en los meses de invierno, incrementa el consumo.

También se examinó la potencia contratada en los años 2018, 2019 y 2020. Se pudo comprobar que en ningún año se cumple con la potencia contratada, se sobrepasa o se queda por debajo. Cualquiera de estos dos casos supone una sanción en el coste de la factura de gas ya que se le aplica un mayor valor de consumo al mes.

Por todo ello, se vio importante aplicar una serie de mejoras con tal de conseguir un ahorro energético y económico. Estas medidas eran: optimizar los tanques, reducir las temperaturas de los *setpoint*, utilizar el vapor de ASESА el fin de semana, reducir el tiempo en el que las calderas están encendidas, sectorizar los circuitos de aceite, así como las distintas partes de la planta, reducir la potencia contratada en los meses de verano, y utilizar herramientas KPI para establecer un seguimiento del consumo a tiempo real. Las medidas que se decidieron implantar y estudiar con más detalle fueron la propuesta para la puesta en marcha de las calderas, la reducción de la

potencia contratada, la utilización del vapor de ASESА siempre y cuando se pudiese, e implantar un contador de gas para el seguimiento del consumo.

Por lo que respecta a la puesta en marcha de las calderas, se buscó la manera de mitigar los picos de consumo de los lunes estableciendo un horario fijo de arranque, de domingo a las 22h hasta el lunes a las 24h, lo que supone un objetivo de consumo de 4.245 Nm³. Para poder cumplir con este objetivo, se estudió el consumo individual de cada caldera y se propuso una secuencia de arranque semanal. El consumo al que se llegó fue de 4.214 Nm³ que equivalen a un total de 48.546 kW.

Por lo referente a la reducción de la potencia contratada, debido al cálculo realizado en el que se comprobó que el consumo mensual sería de 48.546 kW siguiendo la secuencia de arranque, se decidió contratar una potencia de 50.000 kW al mes. Como consecuencia, se vio necesario calcular el ahorro que hubiese supuesto tener esta potencia contratada en los años 2018, 2019 y 2020. El ahorro que hubiese supuesto en 2018 es de 21.637€, lo que equivaldría a un 32% del coste fijo real; de 10.788€ en 2019, lo que equivale a un 19% del coste fijo real; y de 1.977€ en lo que se lleva de año 2020, lo que equivale a un 12% del coste fijo real. Se tiene que remarcar el hecho de que, a partir del mes de abril, se implantó esta propuesta y se consiguió reducir el coste de la factura de gas.

Por lo que respecta al vapor proveniente de ASESА, debido a que su precio por tonelada y por hora de uso es más barato que el vapor propio, se ha decidido utilizarlo el fin de semana con tal de mantener la temperatura de las líneas, aunque signifique reducirla un 10°C debido a que este vapor es de baja presión. Aun así, no se podría hacer uso de este vapor para el arranque semanal ni para el buen funcionamiento de algunos equipos y se necesitaría el aporte del vapor que se genera en la empresa, el cual es de más presión.

Con tal de llevar un control sobre la cantidad de vapor que a la empresa le llega de ASESА, se ha decidido implantar un caudalímetro en la línea. A partir de las condiciones del vapor y de la tubería por el que circula, se ha comprobado que el caudalímetro que mejor se ajusta es el medidor de caudal TFA para vapor saturado, el cual tiene un coste de 2.326€ acompañado por una pantalla visual que tiene un coste extra de 724€.

En cuanto al estudio económico, se ha elaborado un presupuesto en el cual se incluye el coste de todas las medidas implantadas. El coste total de estas propuestas es de 136.967€ en el cual se incluye el coste de todas las válvulas, transmisores, caudalímetro, tuberías para la recirculación del betún y su instalación. En referencia a las medidas tomadas en el funcionamiento de las calderas, esto supondrá una reducción de la potencia contratada de 10.000 a 20.000 kW lo cual se traduce en un ahorro en el coste fijo por la potencia contratada de un 25% respecto al año anterior.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Es.weatherspark.com. 2020. *Clima Promedio En Tarragona, España, Durante Todo El Año - Weather Spark*. [online] Disponible en: <<https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>> [Visitado 12 May 2020].
- [2] Sistemas OEE - Technology to Improve. 2020. *Lean Manufacturing · Definición, Origen Y Evolución*. [online] Disponible en: <<https://www.sistemasoe.com/lean-manufacturing/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [3] Lean Manufacturing 10. 2020. *Lean Management: Qué Es Y Como Implantarla En Tu Negocio*. [online] Disponible en: <<https://leanmanufacturing10.com/lean-management>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [4] *Lean Management Vs Lean Manufacturing ¿En Qué Se Diferencian?* 2020. [online] Canal Gestión Empresarial. Disponible en: <<https://revistadigital.inesem.es/gestion-empresarial/lean-management-vs-lean-manufacturing/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [5] Improven. 2020. *Lean Manufacturing: Cómo Gestionar Eficazmente La Organización*. [online] Disponible en: <<https://www.improven.com/blog/lean-manufacturing-como-gestionar-eficazmente-la-organizacion-2/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [6] Progressa Lean. 2020. *ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL LEAN MANUFACTURING - Progressa Lean*. [online] Disponible en: <<https://www.progressalean.com/origen-y-evolucion-del-lean-manufacturing/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [7] Obsbusiness.school. 2020. *Lean Management: Metodología, Orígenes Y Principios | OBS Business School*. [online] Disponible en: <<https://obsbusiness.school/es/blog-investigacion/direccion-general/lean-management-metodologia-origenes-y-principios>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [8] Gestion.org. 2020. *El Método De Las 5S Y Cómo Aplicarlo En Cualquier Empresa*. [online] Disponible en: <<https://www.gestion.org/principios-del-metodo-de-las-5s/>> [Visitado 29 Marzo 2020].
- [9] Euskalit.net. 2020. [online] Disponible en : <<http://www.euskalit.net/pdf/folleto2.pdf>> [Visitado 23 Marzo 2020].
- [10] Garrido, S., 2020. *¿Qué Es TPM?*. [online] Mantenimientopetroquimica.com. Disponible en: <<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>> [Visitado 19 Marzo 2020].
- [11] Ingeniería Industrial Online. 2020. *Mantenimiento Productivo Total (TPM) - Ingeniería Industrial Online*. [online] Disponible en: <<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>> [Visitado 28 Marzo 2020].
- [12] Mantenimiento Petroquimica. 2020. *TPM Total Productive Maintenance*. [online] Disponible en: <<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>> [Visitado 24 Marzo 2020].
- [13] Valborsoluciones. 2020. *Implementación Del Tpm: Fases Y Pasos A Seguir*. [online] Disponible en: <<https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/fases-implementacion-tpm/>> [Visitado 24 Marzo 2020].
- [14] *¿Qué es SMED?*. 2020. Mtmingenieros. [online] Disponible en: <<http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-smed/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [15] Lean solutions. 2020. *SMED Single Minute Exchange Of Die*. [online] Disponible en: <<https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/smed-single-minute-exchange-of-die/>> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [16] PDca home. 2020. *Despliegue De La Función Calidad (QFD): Guía De Uso. Para Qué Sirve El QFD Y Cómo Realizarlo*. [online] Disponible en: <<https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>> [Visitado 26 Marzo 2020].

- [17] ProfitControl. 2020. Metodología QFD. [online] Disponible en: <http://www.profitcontrols.com/metodologia-qfd/?gclid=Cj0KCQjw6_vzBRCIARIsAOs54z6SfxPFkSpzKYWdgBJY5thy6D0LiiDkQ_wWiuqF6rnssJfSLFhkC5EaAgl3EALw_wcB> [Visitado 25 Marzo 2020].
- [18] Yacuzzi, E. and Martín, F., 2020. [online] Disponible en: <<https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>> [Visitado 15 Marzo 2020].
- [19] Kanban Software for Agile Project Management. 2020. *Qué Es Kanban: Fundamentos | Kanbanize*. [online] Disponible en: <<https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban>> [Visitado 30 Marzo 2020].
- [20] Pdcacahome.com. 2020. *Método Jidoka: Control Y Mejora De Calidad En Procesos : PDCA Home*. [online] Disponible en: <<https://www.pdcacahome.com/metodo-jidoka/>> [Visitado 30 Marzo 2020].
- [21] Evaluador.doe.upv.es. 2020. VSM (Value Stream Mapping) - DOE WIKI. [online] Disponible en: <[http://evaluador.doe.upv.es/wiki/index.php/VSM_\(Value_Stream_Mapping\)](http://evaluador.doe.upv.es/wiki/index.php/VSM_(Value_Stream_Mapping))> [Visitado 5 May 2020].
- [22] Madrid.org. 2020. [online] Disponible en : <<http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Instalaciones/Instalaciones%20termicas/Normas%20Tratadas/ESRd20602008.pdf>> [Visitado 1 Abril 2020].
- [23] 2020. [online] Disponible en: <https://www.modeloingenieria.edu.ar/images/IntegracionIII/Material-ext/tablas_y_diagramas.pdf><https://www.modeloingenieria.edu.ar/images/IntegracionIII/Material-ext/tablas_y_diagramas.pdf><https://www.modeloingenieria.edu.ar/images/IntegracionIII/Material-ext/tablas_y_diagramas.pdf> [Visitado 11 Abril 2020].
- [24] Engineeringtoolbox.com. 2020. *ASME/ANSI B36.10/19 - Carbon, Alloy And Stainless Steel Pipes - Dimensions - Metric Units*. [online] Disponible en: <https://www.engineeringtoolbox.com/asme-steel-pipes-sizes-d_42.html> [Visitado 11 Abril 2020].
- [25] Bibing.us.es. 2020. [online] Disponible en: <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/5+-+P%C3%89RDIDAS+DE+CARGA+EN+REDES+HIDR%C3%81ULICAS.pdf>> [Visitado 29 Abril 2020].
- [26] Campusvirtual.urv.cat. 2020. *Moodle. Aplicació tècniques d'identificació de perill*. [online] Disponible en: <https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/2935244/mod_resource/content/1/Tema%2011%20Aplicacio%20Tecniques%20dIdentificacio%20de%20Perill%202018.pdf> [Visitado 15 Mayo 2020].
- [27] Cepsa.com. 2020. [online] Disponible en: <https://www.cepasa.com/stfls/CepsaCom/PROAS/Ficheros_proas/2013/CAT_GENERAL_PROAS_v10.pdf> [Visitado 10 May 2020].
- [28] Generador de precios. España 2020. [online] Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp> [Visitado 11 Junio 2020].
- [29] Matche.com. 2020. *Matches' Pump Cost - Horizontal, Vertical, ANSI, API-610.* [online] Disponible en: <<http://www.matche.com/equipcost/PumpCentr.html>> [Visitado 17 Junio 2020].

- [30] Wika España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.wika.es/tr10_c_es_es.WIKA> [Visitado 12 Junio 2020].
- [31] Wika España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.wika.es/tr10_c_es_es.WIKA> [Visitado 12 Junio 2020].
- [32] Rosemount. 2020. [online] Disponible en : <<https://www.instrumart.com/products/25475/rosemount-2120-liquid-level-switch>> [Visitado 12 June 2020].
- [33] ManoMano España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.manomano.es/conmutadores-de-presion-y-conmutadores-de-aire-para-caldera-3379?model_id=11453663&g=1&referer_id=689879&gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNuZEgokucA_AFhhziz5rpITQVy27VDM-ckOrNvT2zNH0INjid15pcsaAmnHEALw_wcB> [Visitado 12 Junio 2020].
- [34] RS Online. 2020. [online] Disponible en : <[https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel-y-accesorios-para-interruptores/4683514?cm_mmc=ES-PLA-DS3A--google--CSS_ES_ES_Automatizaci%C3%B3n_y_Control_de_Procesos_Whoop--\(ES:Whoop!\)+Sensores+de+Nivel+y+Accesorios+para+Interruptores--4683514&matchtype=&pla-](https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel-y-accesorios-para-interruptores/4683514?cm_mmc=ES-PLA-DS3A--google--CSS_ES_ES_Automatizaci%C3%B3n_y_Control_de_Procesos_Whoop--(ES:Whoop!)+Sensores+de+Nivel+y+Accesorios+para+Interruptores--4683514&matchtype=&pla-)>

A. ANEXOS

A.1. Extrapolación 5S a pequeña escala

Dadas las circunstancias actuales y debidas al confinamiento indefinido, no se ha podido aplicar la metodología de las 5S en la empresa. No obstante, se ha propuesto la implantación de las 5'S a pequeña escala en una zona de casa. Para ello, se ha escogido el armario de la ropa, el cajón de los apuntes y zonas de uso común (escritorio, mesita de noche y una estantería).

A continuación, se puede observar las medidas que se han llevado a cabo en cada una de las áreas seleccionadas.

Implantación 5S en el armario de la ropa

Para realizar este estudio, se ha elegido la habitación, más detalladamente los armarios y los cajones de ropa para aplicar esta metodología con el objetivo de mantenerlos organizados y limpios para una mejor utilización de estos.

En la imagen siguiente se puede observar el espacio en el que se va a trabajar.



Figura A.1.1. Armario y cajones en los que se aplican las 5'S.

- **Implantación de la 1'S**

La primera etapa consiste en una clasificación, es decir, se separa lo necesario de lo innecesario.

Como podemos ver en la figura A.1.2 primero de todo se saca toda la ropa de los cajones para ser clasificada.



Figura A.1.2. Ropa sin clasificar.

Seguidamente se separa la ropa que ya no se va a utilizar más para que no siga ocupando espacio innecesario de los cajones. Esta ropa va a ser reutilizada según las distintas causas de su no utilización. La ropa que se haya quedado pequeña será ofrecida a familiares más pequeños que puedan darle un mejor uso, mientras que aquella ropa que se haya dado de sí, o por otras razones como por ejemplo manchas que no se puedan quitar, se utilizará como trapos.

- **Implantación de la 2'S**

La segunda etapa consiste en ordenar lo que realmente es útil una vez eliminado lo innecesario.

Para ello, se ha llevado a cabo una clasificación dependiendo del tipo de ropa de la que se trata (verano/invierno) y de su utilización ya que, en este caso al ser invierno, se utilizará más la ropa de manga larga y/o jerséis.

En la imagen A.1.3 se puede apreciar la clasificación que se ha llevado a cabo.



Figura A.1.3. Ropa clasificada.

Una vez clasificada la ropa, se ha colocado en los cajones que se crean más convenientes según su utilización.

Teniendo en cuenta que es invierno, y que consecuentemente se utilizará más la ropa como los jerséis y las camisetas de manga larga, se ha ubicado la ropa de estas características en los cajones de más arriba.



Figuras A.1.4. Cajón de jerséis y camisetas de manga larga.

Posteriormente se ha colocado la ropa de manga corta y la de tirantes (teniendo en cuenta también la ropa interior) en los armarios siguientes .



Figura A.1.5. Cajón de camisetas de manga corta y tirantes.

Por último, se han colocado los pijamas.



Figura A.1.6. Cajón de pijamas.

De la misma manera se ha procedido para ordenar el armario en el cual se guardan las faldas, las rebecas o chaquetas de entretiempo, y las chaquetas de invierno; y el cajón dónde se guardan los pantalones.

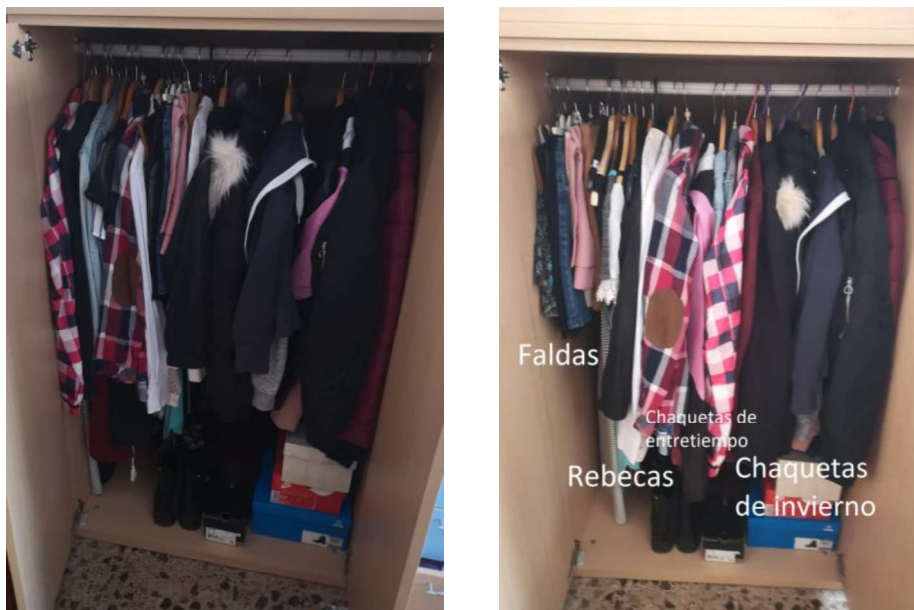


Figura A.1.7. Estado inicial y estado final del armario de chaquetas.



Figura A.1.8. Estado inicial y estado final del cajón de pantalones.

- **Implantación de la 3'S**

La tercera etapa consiste en detectar fuentes de suciedad y eliminarlos, consiguiendo que el área trabajada quede realmente limpia.

Para ello, se han limpiado el armario y los cajones y se han añadido deshumidificadores y ambientadores para crear un buen ambiente dentro de ellos.

- **Implantación de la 4'S**

La cuarta etapa consiste en estandarizar, es decir, que la implantación de las tres fases anteriores quede bajo control.

Lo que se pretende es estandarizar todo aquello que se ha clasificado, ordenado y limpiado, y para ello se opta por etiquetar cada uno de los cajones dependiendo de si estos contienen jerséis, camisetas de manga larga, camisetas de manga corta, de tirantes, o pijamas.

Además, se crea un cartel con una imagen visual en el cual se ve como están ordenadas las prendas dentro del armario y del cajón para que se siga manteniendo de esta manera.

- **Implantación de la 5'S**

La quinta etapa consiste en la autodisciplina y se basa en el cumplimiento de las normas establecidas. En esta última fase se tiene en cuenta sobre todo la concienciación de la persona para poder mantener todo lo que se ha estipulado, es decir, la clasificación, el orden, la limpieza y la estandarización.

Para ello, se crea una *checklist* en la cual se refleja si se han cumplido todas las normas. Semanalmente se irá haciendo un seguimiento acerca de si todo sigue clasificado, ordenado y limpio.

Implantación 5'S sobre apuntes

En el presente trabajo se llevará a cabo la aplicación de las 5S de las técnicas del *Lean Management* sobre documentos y libros. Se intentará implantar ideas que ayudan a separar, ordenar y guardar documentos con el objetivo de aprovechar de manera eficiente el espacio y facilitar su posterior consulta.

- **Implantación de la 1'S**

En primer lugar, se depositan todos los documentos y libros que se quiera ordenar. En esta primera fase lo que se quiere conseguir es identificar toda aquella documentación innecesaria y obsoleta con el objetivo de separarla.

A continuación, se presentan en la figura A.1.9 y A.1.10 en la que se intentó organizar toda la documentación que se tiene con el objetivo de separarla y deshacerse de la innecesaria.

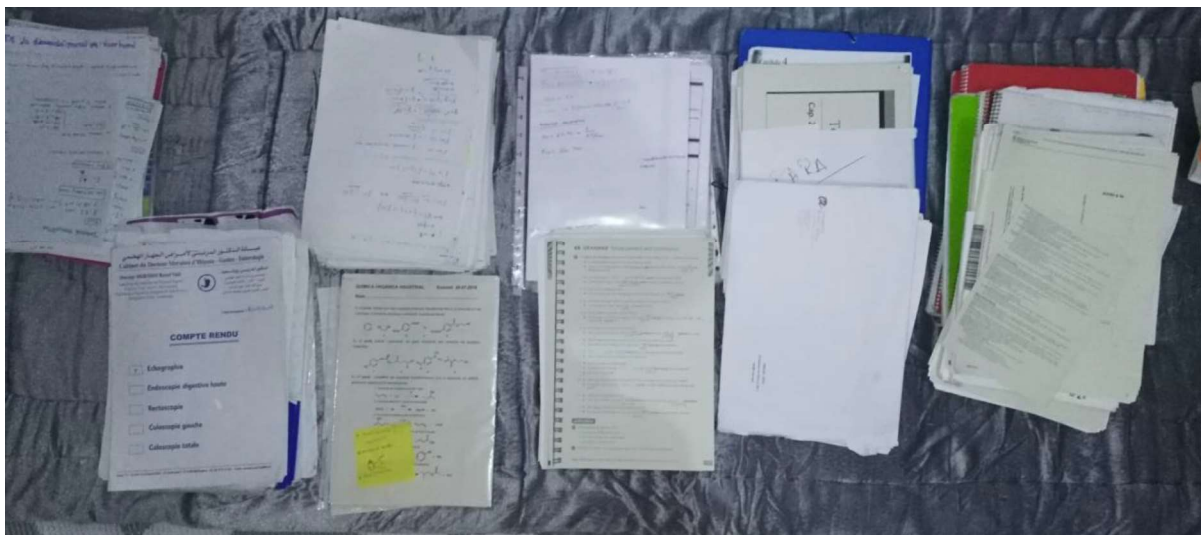


Figura A.1.9. Documentos agrupados de manera aleatoria sin ningún tipo de clasificación.



Figura A.1.10. Carpetas con documentación ordenada sin ningún criterio.

- **Implantación de la 2'S**

En segundo lugar, se procede a separar toda aquella documentación obsoleta que no se va a consultar más, libros que no se han leído y no se leerán nunca, o libros de texto que no se van a utilizar más. En dicha separación se crean 3 categorías: documentos y libros que pasan a la fase de ordenar, libros que se pueden aprovechar para otros fines (por ejemplo, libros de lectura o de texto que uno no utiliza se pueden donar o vender, o documentos que se pueden reusar como hojas para escribir) y la última sería de documentos desechables.

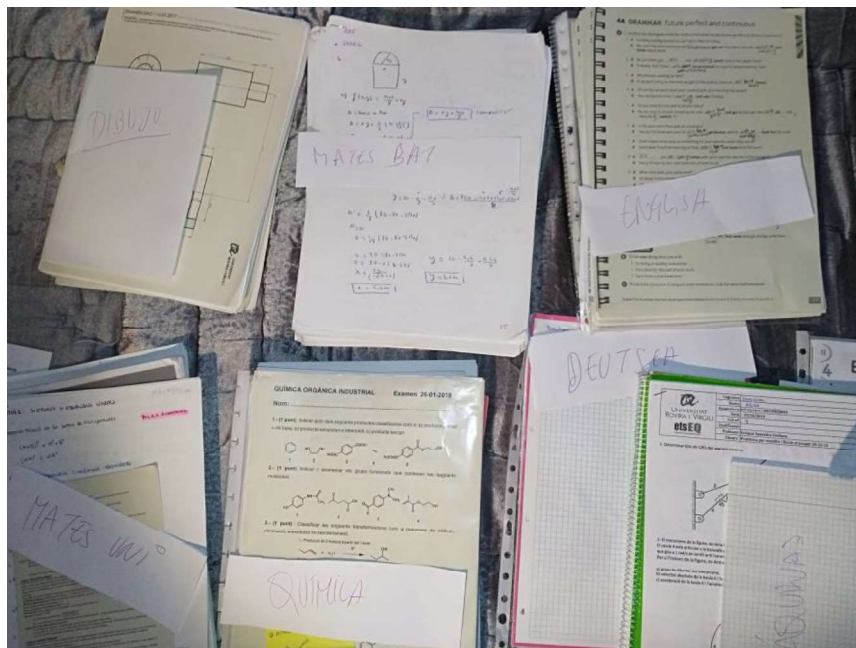


Figura A.1.11. Primera etapa de separación y/o clasificación de documentos.

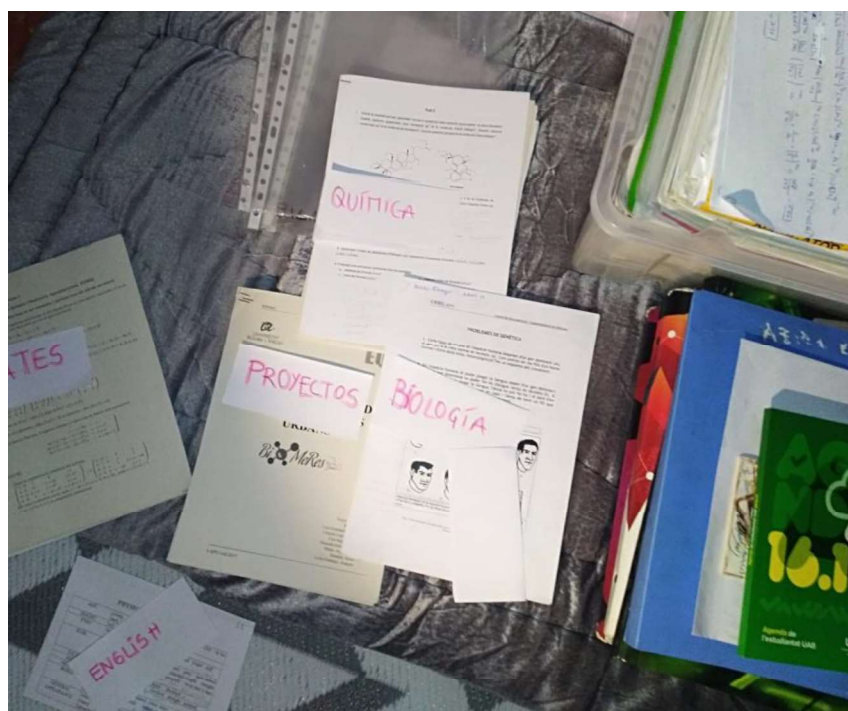


Figura A.1.12. Un primer intento de separar los documentos según la materia correspondiente.

- **Implantación de la 3'S**

En este proceso lo que se pretende es establecer medidas de limpieza para eliminar cualquier fuente de suciedad.

En el presente caso lo que se ha detectado más es que los documentos situados fuera de un elemento de mayor tamaño que los contenga y los mantenga en una correcta imagen representan un cúmulo de papeleo arrugado y sin ninguna identificación. Por ello se ha implantado que

ningún papel pueda estar fuera sin un portafolio o una carpeta identificada. De este modo, se logrará mantener en buen estado y limpios.

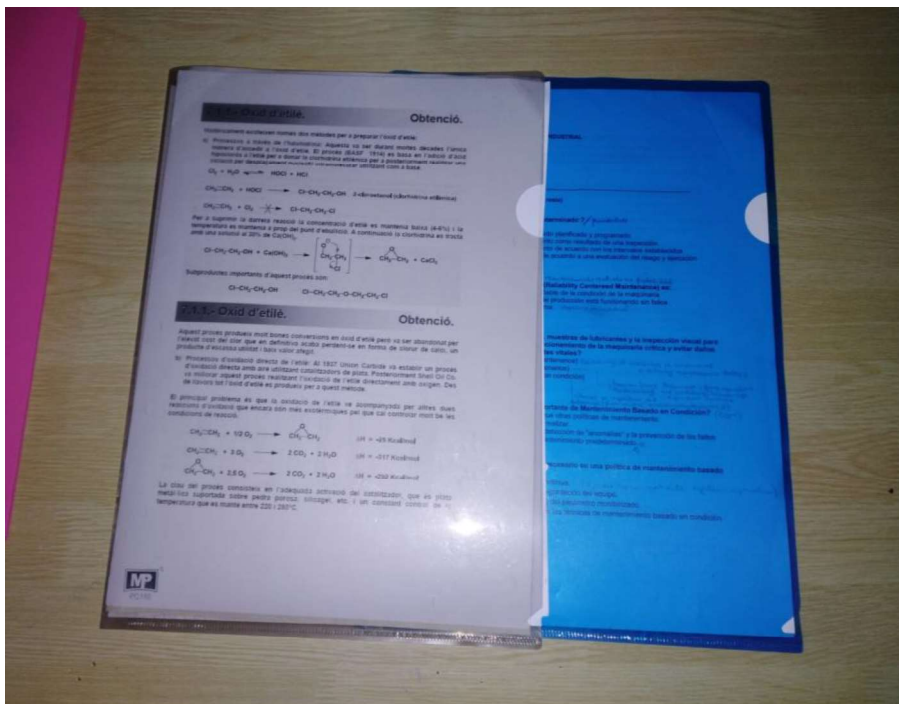


Figura A.1.13. Para mantener la documentación en buen estado se guarda en portafolios.

- **Implantación de la 4'S**

La última fase consistirá en ingeniar alguna metodología basada en *Visual Management* para poder ordenar y conservar la documentación de tal manera que sea fácilmente accesible e identificable. Por ejemplo, en el caso de documentos utilizar carpetas de diferentes colores, identificando cada color con una materia; en los libros, crear un registro virtual de los libros y ordenarlos por lenguas, etc. Además, todos los libros que no sean de uso diario se pondrán en cajas identificables.

En este caso se optó por utilizar carpetas de distintos colores, identificando cada color con una materia y con una etiqueta. Cabe destacar, que la documentación que se va a consultar a menudo se ha depositado en carpetas con portafolios transparentes con el objetivo de hacer la búsqueda un poco más rápida ya que la información queda al alcance en cuanto se abre la carpeta sin necesidad de sacarlos.

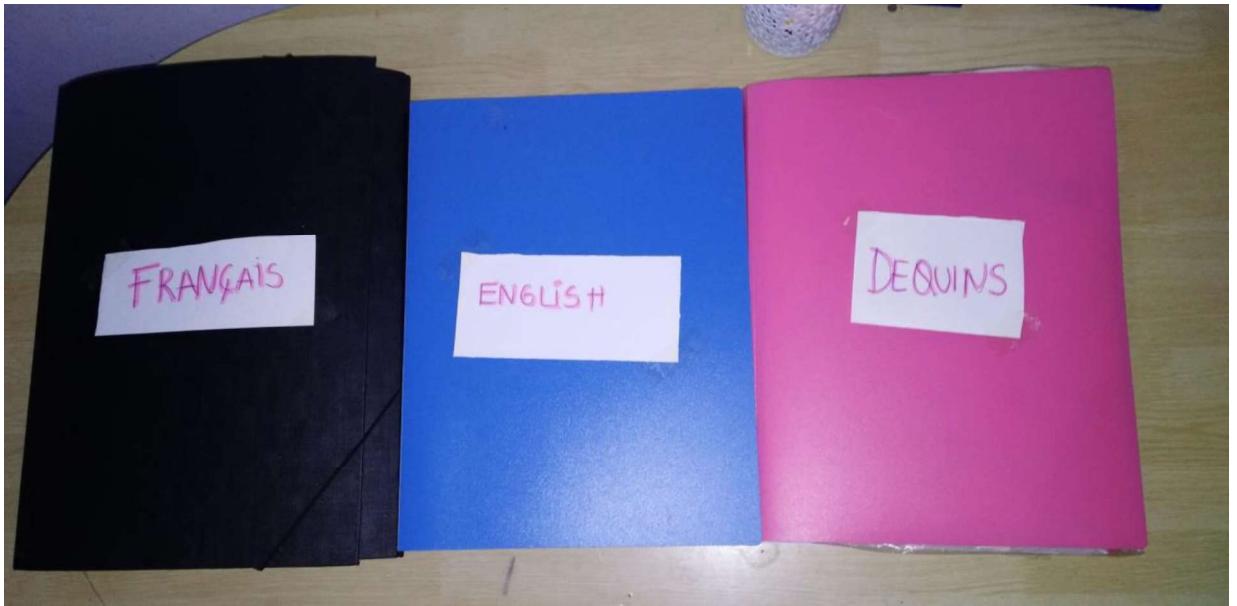


Figura A.1.14. Carpetas correspondientes a diferentes materias identificadas por el color y etiquetas.

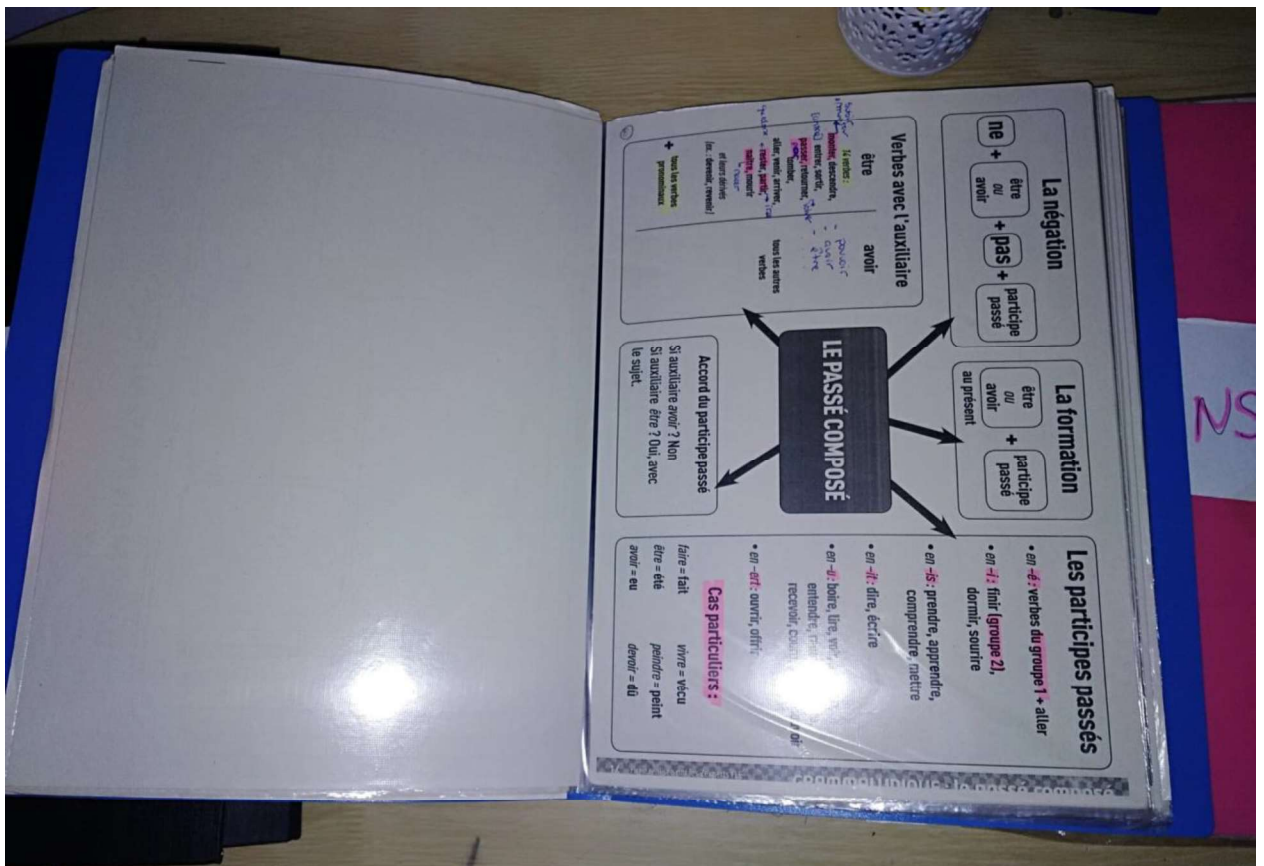


Figura A.1.15. Ejemplo de uso práctico de este tipo de carpetas para documentos de uso/consulta frecuente.

Para los libros que no se van a utilizar a menudo se han depositado en cajas. Estas cajas están numeradas y en la tapa de cada una está impresa una tabla del tipo que se muestra en la figura A.1.16, que contiene el listado de los libros que se hayan dentro. Estas cajas serán guardadas en lugar común en casa.

Caja	Nombre	Curso	Materia	Editorial
1	Over to you	2ª Bat	English	Oxford
1	English File	Intermediate	English	Oxford
1	Filosofia	1º Bat	Filos.	Vicens Vives
1	Biliogia i geologia	3º	Bio	La Galera
1	Història de la filosofia	2ºBat	Hist.	Vicens Vives
1	Història	4º	Hist.	Teide
1	Llengua catalana i litera	4º	Català	Castellnou
1	Lengua castellana y liter	4º	Castellano	Teide
1	Matemàtiques I i II	Bat	Mates	edebé
1	Matemàtiques	3º	Mates	Teide
1	Llengua catalana i litera	Bat	Català	cruilla
1	Química I i II	Bat	Química	edebé
2	Ciències per al món con	Bat	Ciència	Vicens Vives
2	Biologia i geologia	4º	Bio	Vicens Vives
2	Física	2ºBat	Física	McGrawHill
2	Lengua castellana y liter	Bat	Castellano	edebé
2	Historia	2º Bat	Histroia	Santillana

Figura A.1.16. Lista de los libros que no se utilizan y que en caso de que se necesiten (ya se para dar repaso o consulta propia) serán fácilmente identificables.

- **Implantación de la 5'S**

Se creará una *checklist* para comprobar que los documentos y libros se mantienen con el paso del tiempo ordenados, identificados y accesibles.

La lista contendrá todos los detalles que informan sobre el estado de la documentación. Esta lista se pasará mensualmente permitiendo de este modo tener actualizado el sistema y aportando mejoras y nuevas ideas de organización y control.

Tabla A.1.1. *Checklist* para el seguimiento y mejora del sistema.

CHECKLIST 5S		
1	¿Hay libros / documentos fuera de su lugar correspondiente?	✓
2	¿Hay libros / documentos obsoletos?	✗
3	¿Se consultado los libros guardados en la caja?	✓
4	¿Todos los libros / documentos están en su lugar?	✓
5	¿Los documentos de frecuente uso están ordenados y en su sitio?	✓
6	¿Se conserva y se sigue el sistema de identificación preestablecido?	✓
7	¿Se conservan en estado limpio y ordenados?	✓
8	¿Existe alguna parte donde existe oportunidad de mejora?	✓

A dicha tabla se le podría acompañar con un sistema de puntuación con el objetivo de saber cuál es el grado de cumplimiento de las 5S. Pero en este caso no se hace, porque el lugar sobre le cuál se aplican es de uso individual y tampoco existe suficiente de variabilidad de elementos.

Aplicación 5s en varias zonas de uso



Figura A.1.16 Mesita ultimo cajón



Figura A.1.17 Penultimo cajón de la mesita



Figura A.1.18 Segundo cajón de la mesita



Figura A.1.19 Primer Cajón de la Mesita

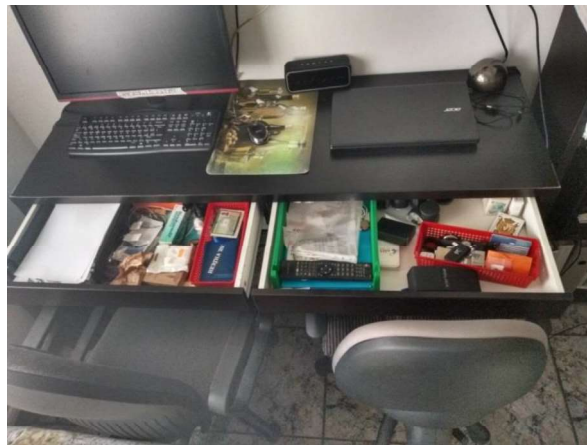


Figura A.1.20 Escritorio



Figura A.1.21 Estanteria

- **Aplicación primera S**

Consiste en la clasificación de lo que es necesario y lo que no, todo lo que se rechace se debe saber dónde se puede hacer un correcto tratamiento de los desechos.

Después de proceder a la aplicación de la primera S, la mayoría de los desechos son papeles y plásticos, los cuales se han separado en diferentes bolsas para su posterior reciclaje.

- **Aplicación segunda S**

Principalmente la segunda S consiste en ordenar de una forma la cual también facilite el mantenimiento si es necesario y su funcionalidad.

Por ejemplo, en la estantería se ha puesto en la parte de arriba todo lo que se suele utilizar con frecuencia, como puede ser libros o productos de higiene personal, apuntes de la universidad.

En la mesita se ha seguido el mismo patrón por uso de mayor a menor, el que tenga menos uso va en el último cajón.

En el escritorio por ejemplo tampoco se puede poner mucho orden ya que está todo en un primer plano y es de fácil acceso, sea de uso o no. Por lo tanto, lo único que se ha podido aplicar es la primera S.

- **Aplicación tercera S**

Este paso consiste en limpiar con profundidad las zonas las cuales se ha aplicado las dos S previas. Después de realizar una limpieza se tiene que colocar en el mismo orden que el anterior para seguir cumpliendo con la funcionalidad.

Estas son las imágenes de cómo ha quedado:



Figura A.1.22. Mesita ultimo cajón.



Figura A.1.23. Penultimo cajón de la mesita.



Figura A.1.24. Segundo cajón de la mesita.



Figura A.1.25. Primer Cajón de la Mesita.



Figura A.1.26. Escritorio.



Figura A.1.27. Estantería.

- **Aplicación cuarta S**

Para estandarizar estos espacios, se ha decantado por poner una hoja pegada en la estantería para la persona que entre encuentre una lista de cómo esta estandarizada la separación de las cosas.

Por ejemplo, en la hoja está puesto qué proceso se ha seguido para separar las cosas en los distintos cajones. A parte, se ha explicado a cada persona de la casa que para usar estos espacios hay que seguir lo que dice la hoja.

- **Aplicación quinta S**

La mejor forma de saber si todo sigue en su sitio sería con una *check list*, pero es de uso individual, cada mes se hará un repaso de cómo sigue la distribución siguiendo la lista mencionada en la cuarta S, para asegurar que todo sigue en su correspondiente sitio.

A.2. Gráficos de consumo mensual

A continuación, se muestran todos los gráficos de consumo mensuales correspondientes a los años 2018, 2019 y 2020.

Consumo gas Enero 2018

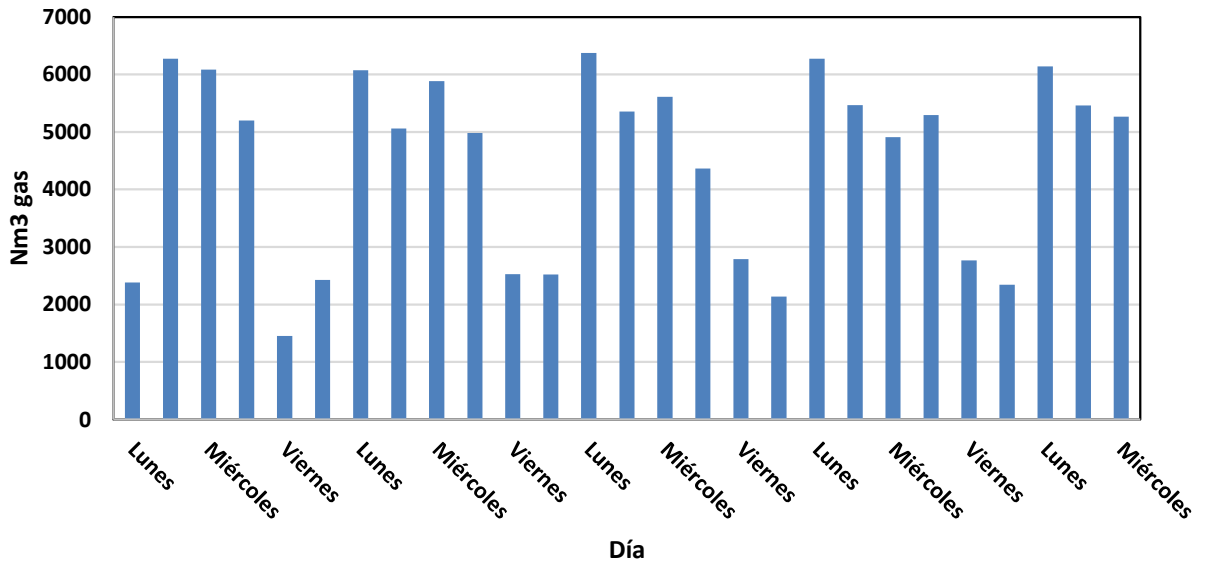


Figura A.2.1 Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Febrero 2018

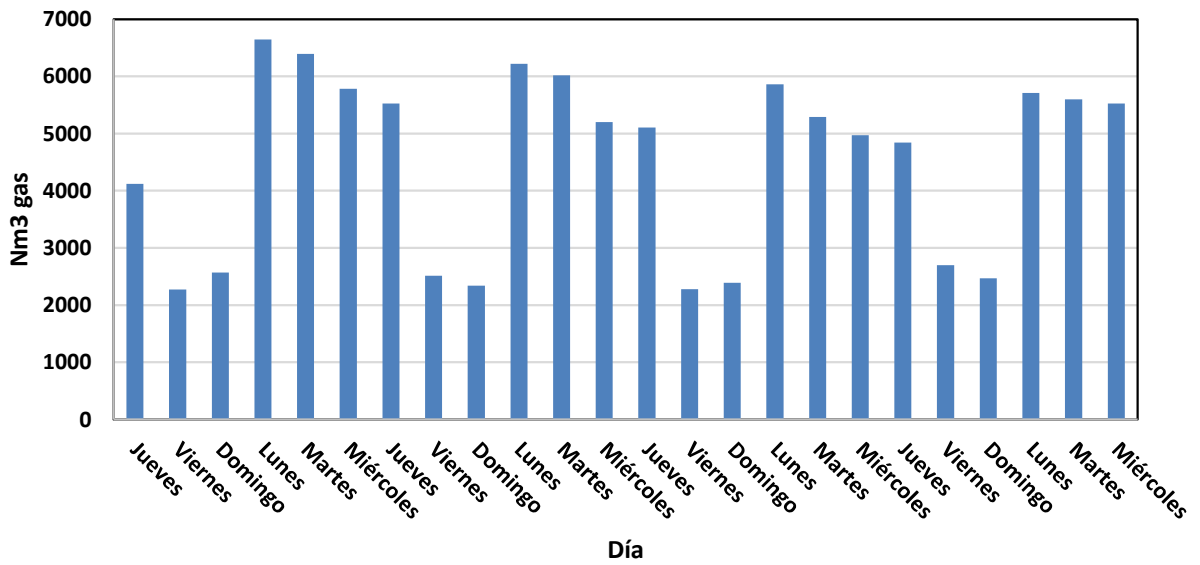


Figura A.2.2. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Marzo 2018

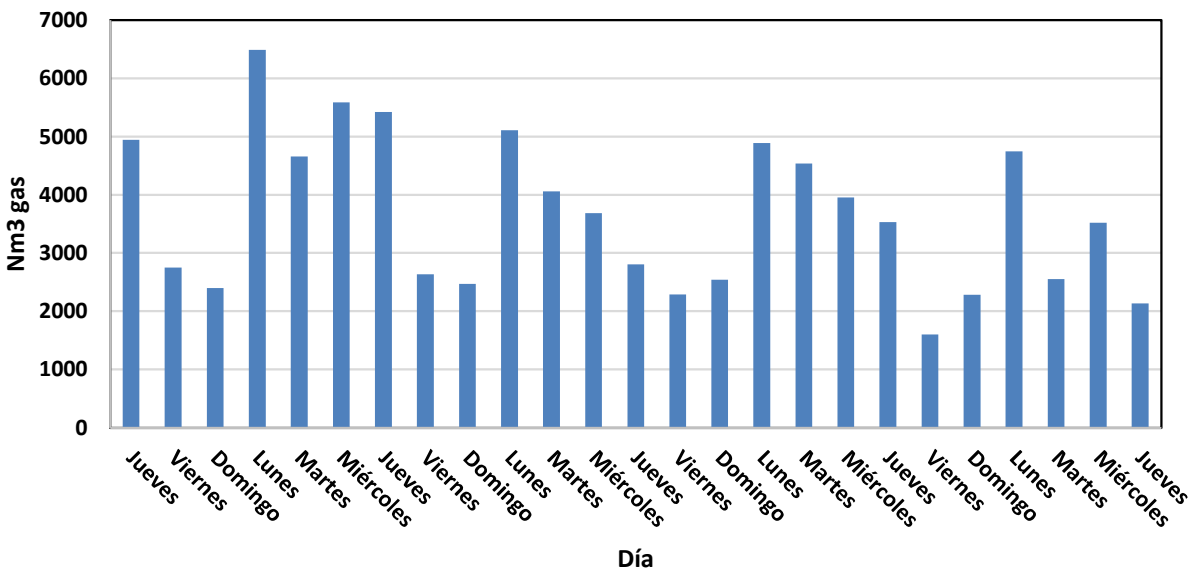


Figura A.2.3. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Abril 2018

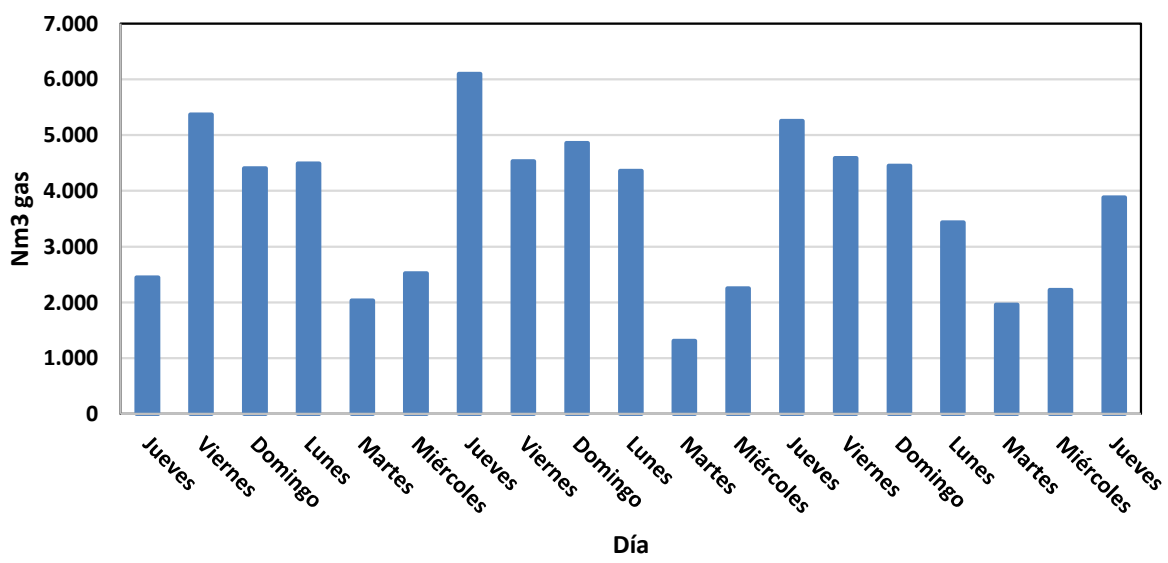


Figura A.2.4. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Mayo 2018

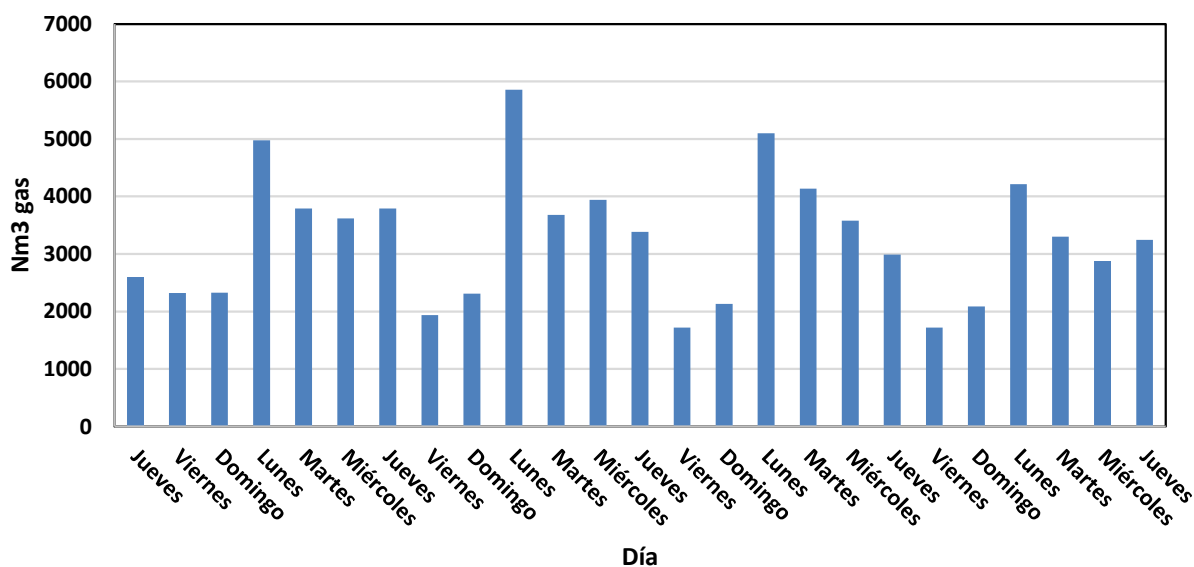


Figura A.2.5. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Junio 2018

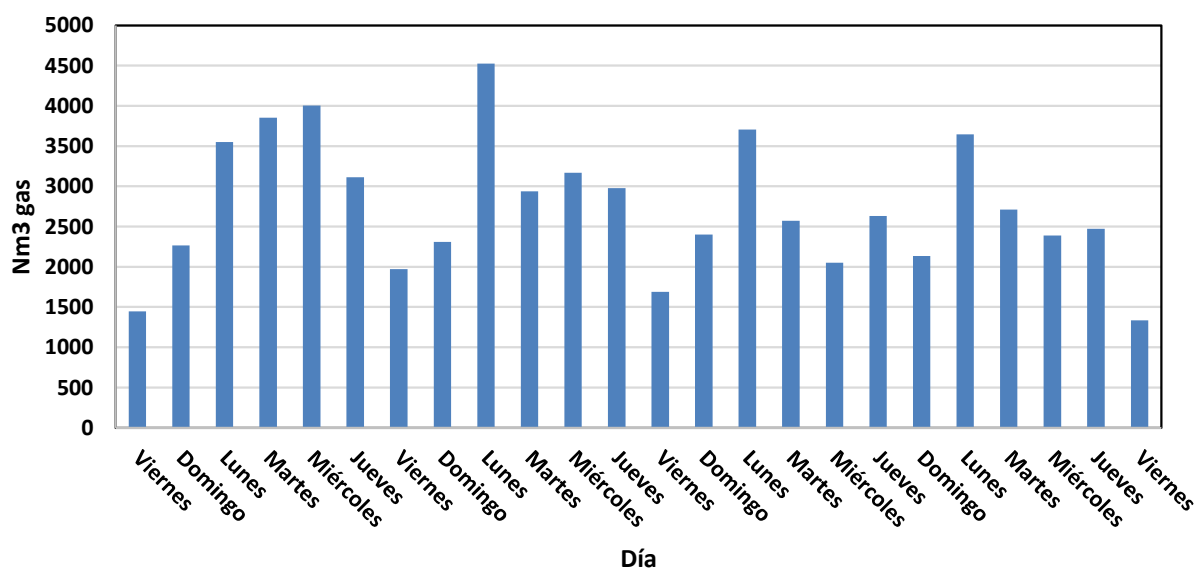


Figura A.2.6. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Julio 2018

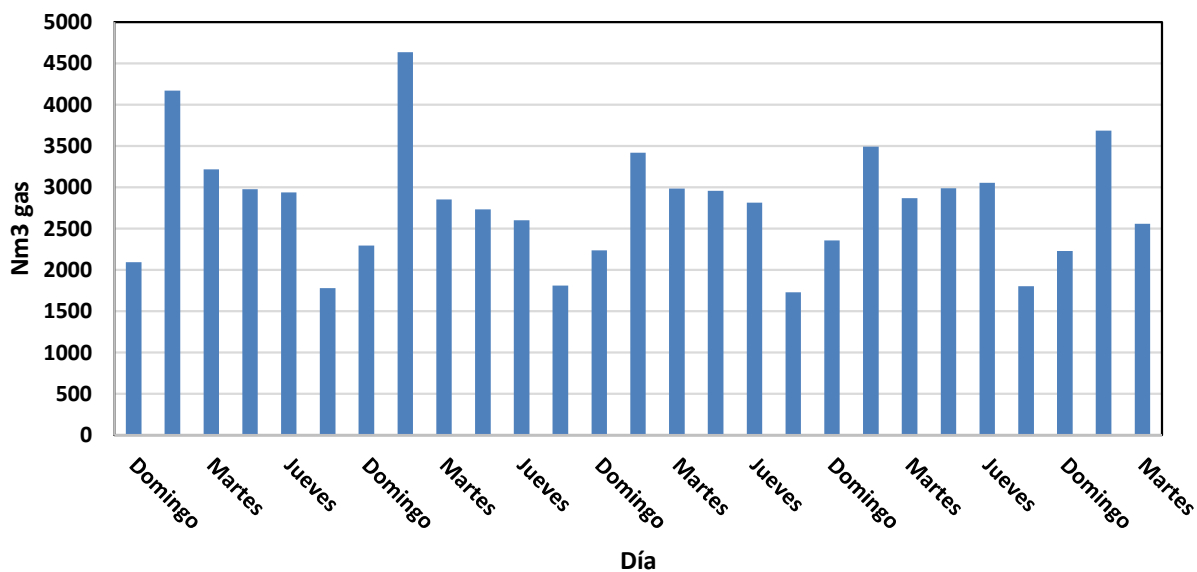


Figura A.2.7. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Agosto 2018

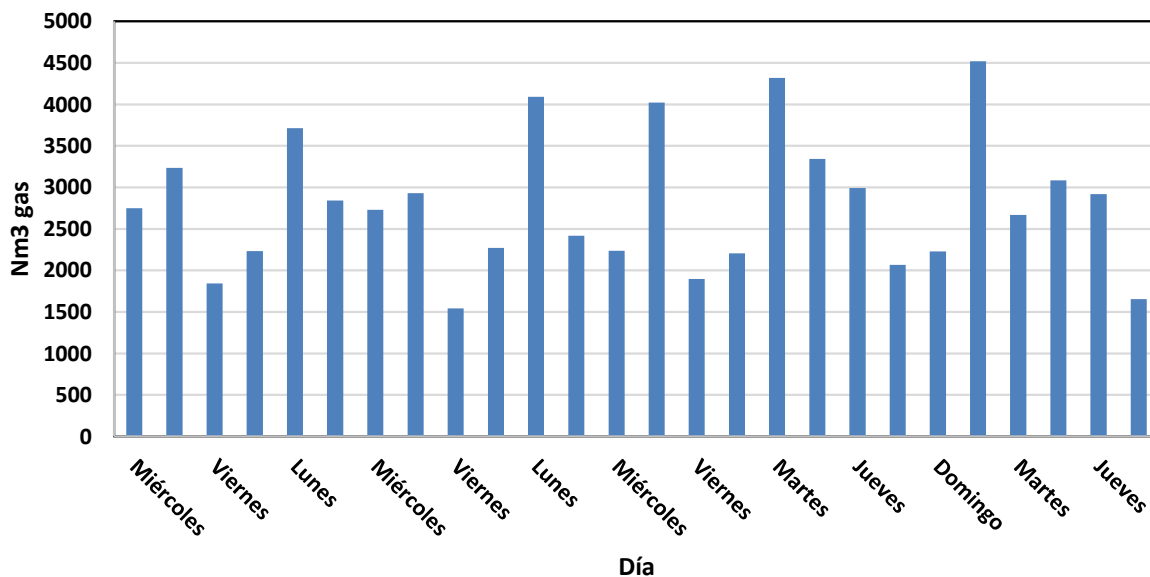


Figura A.2.8. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Septiembre 2018

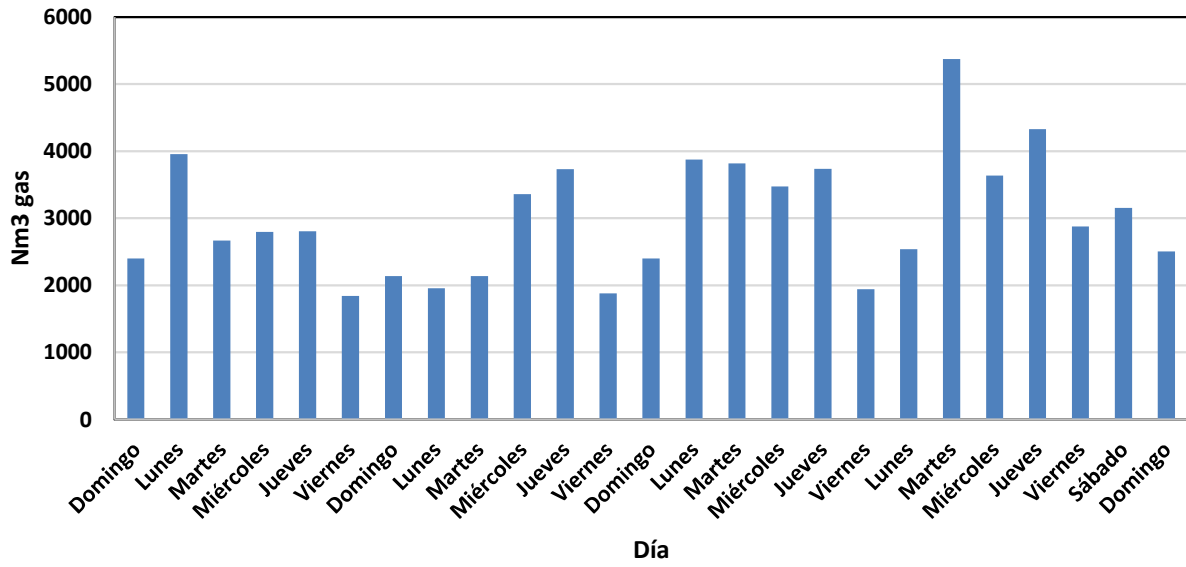


Figura A.2.9. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Octubre 2018

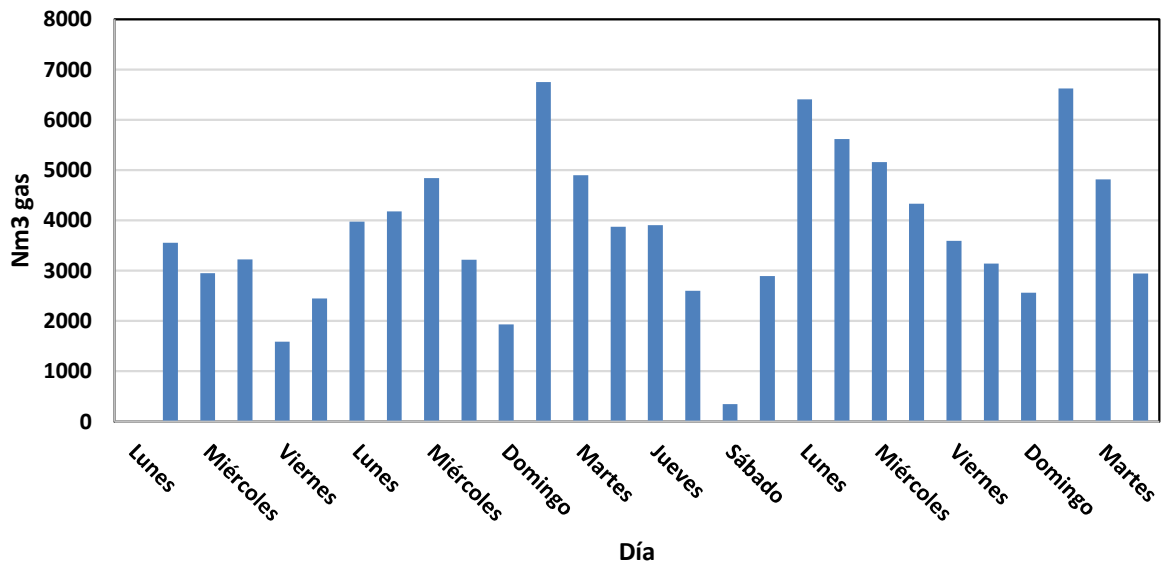


Figura A.2.10. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Noviembre 2018

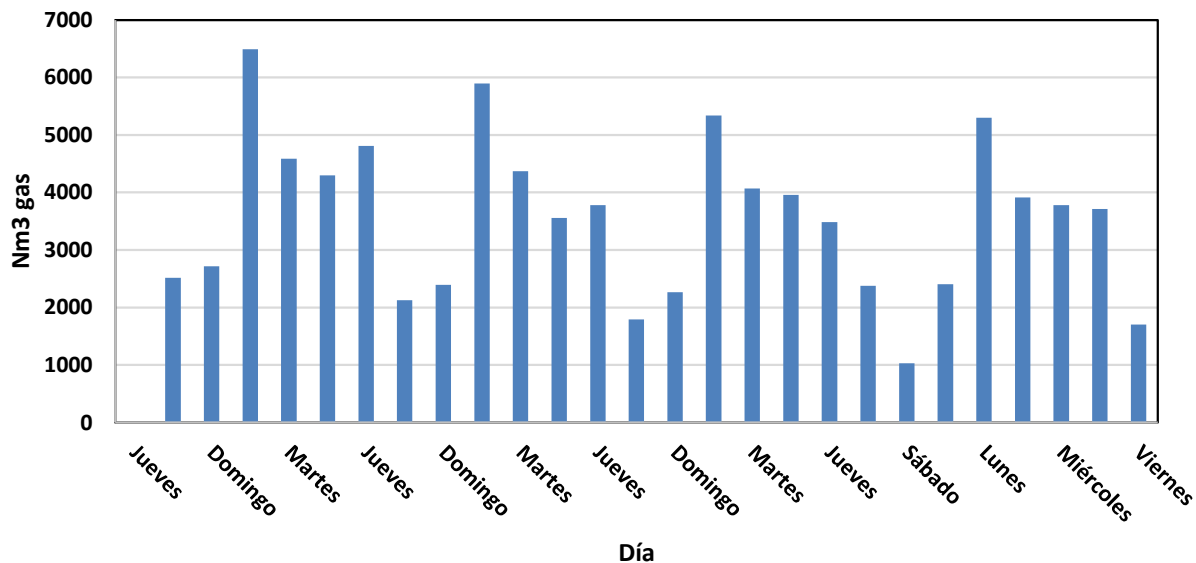


Figura A.2.11. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo gas Diciembre 2018

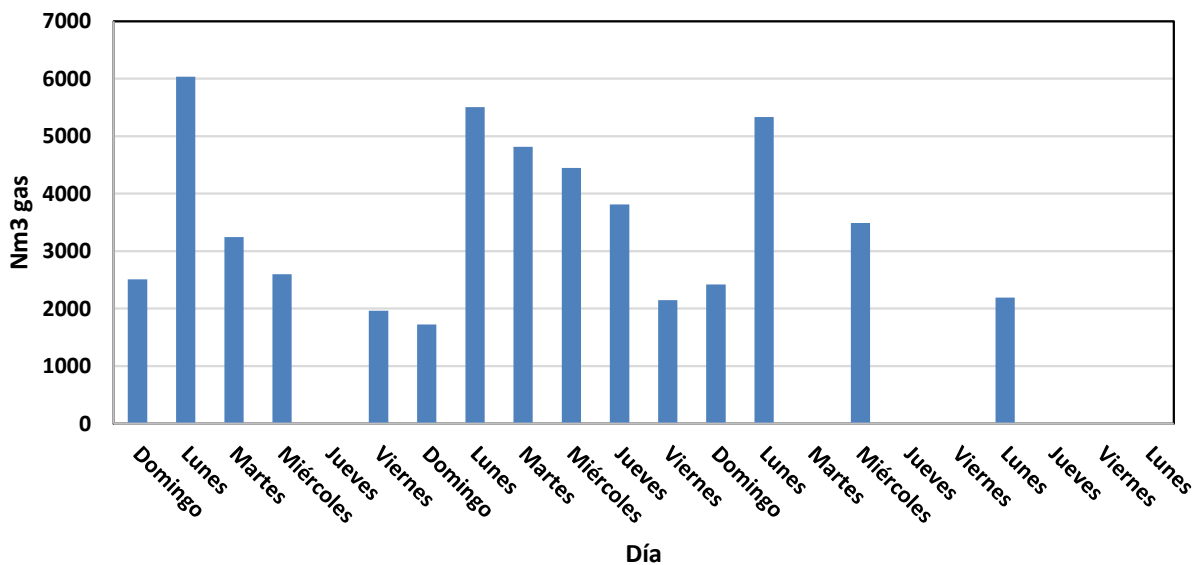


Figura A.2.12. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Enero 2019

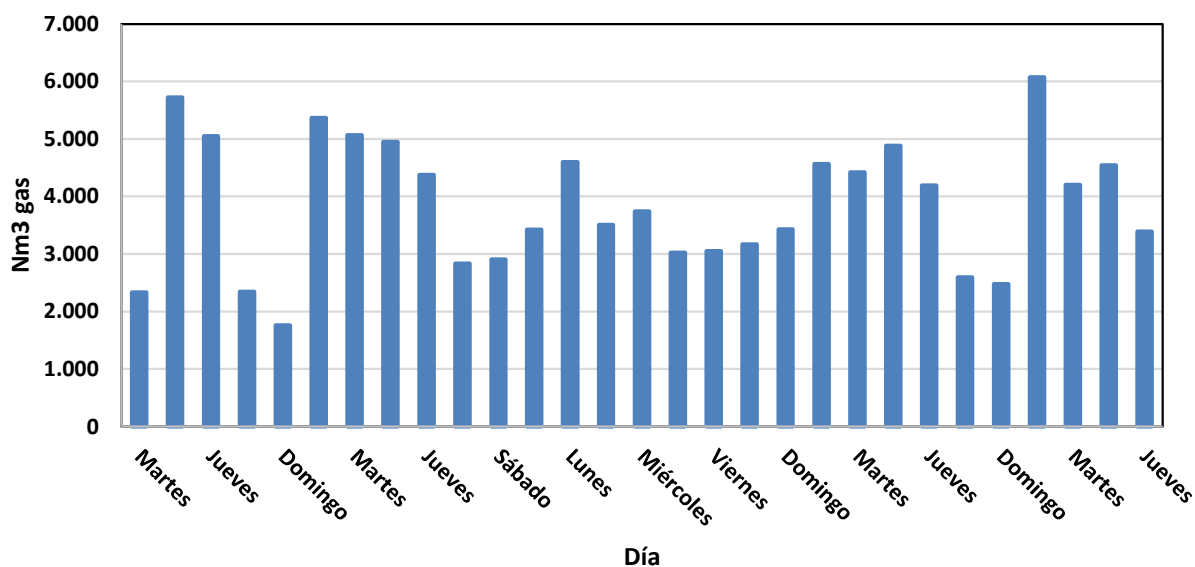


Figura A.2.13. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Febrero 2019

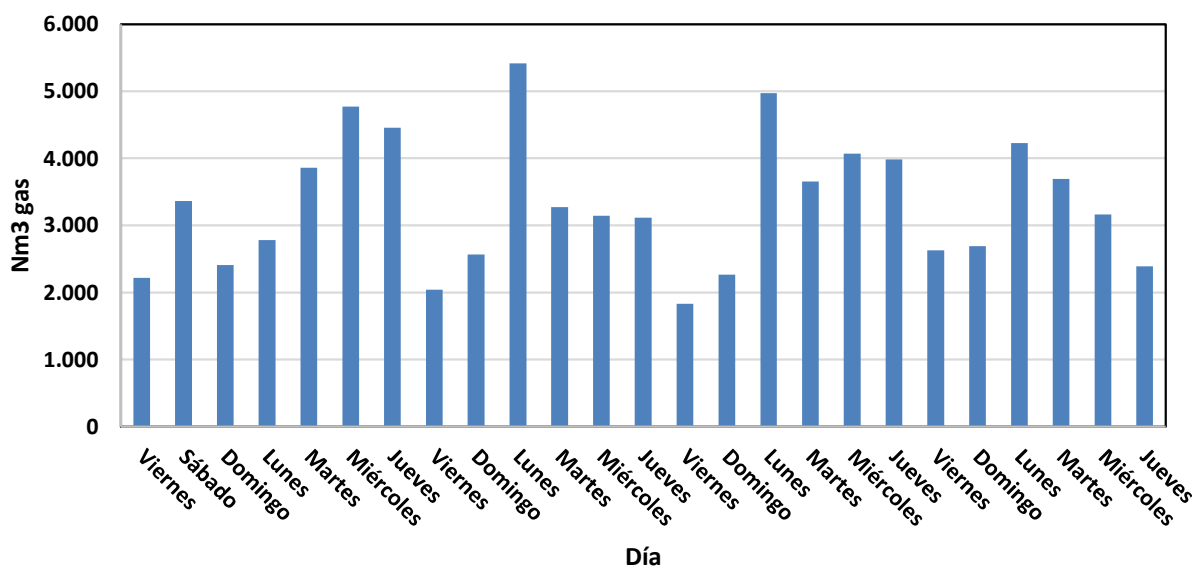


Figura A.2.14. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Marzo 2019

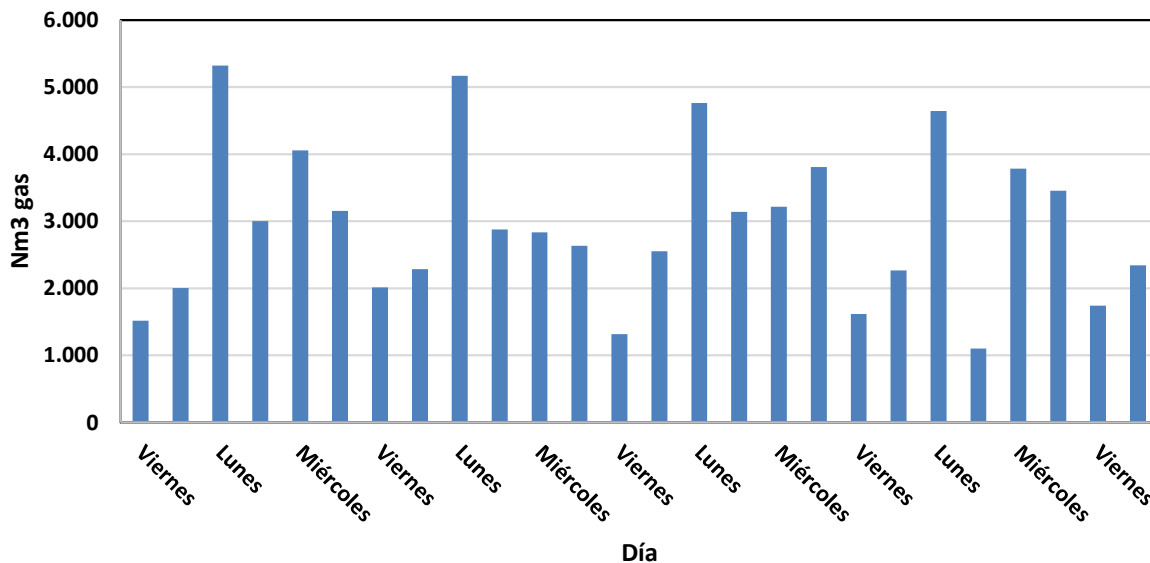


Figura A.2.15. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Abril 2019

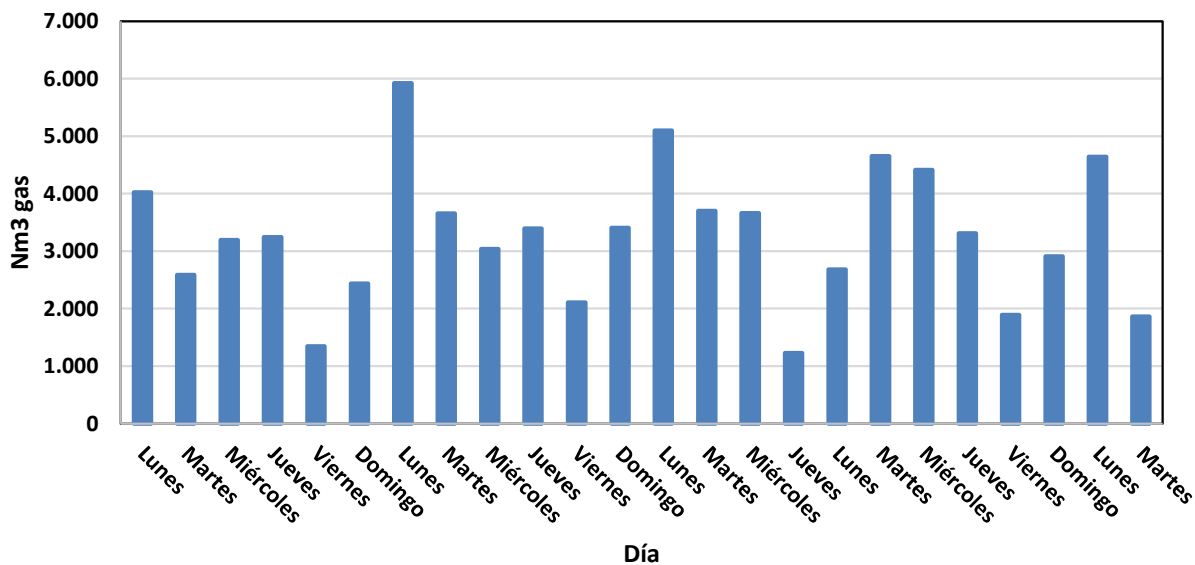


Figura A.2.16. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Mayo 2019

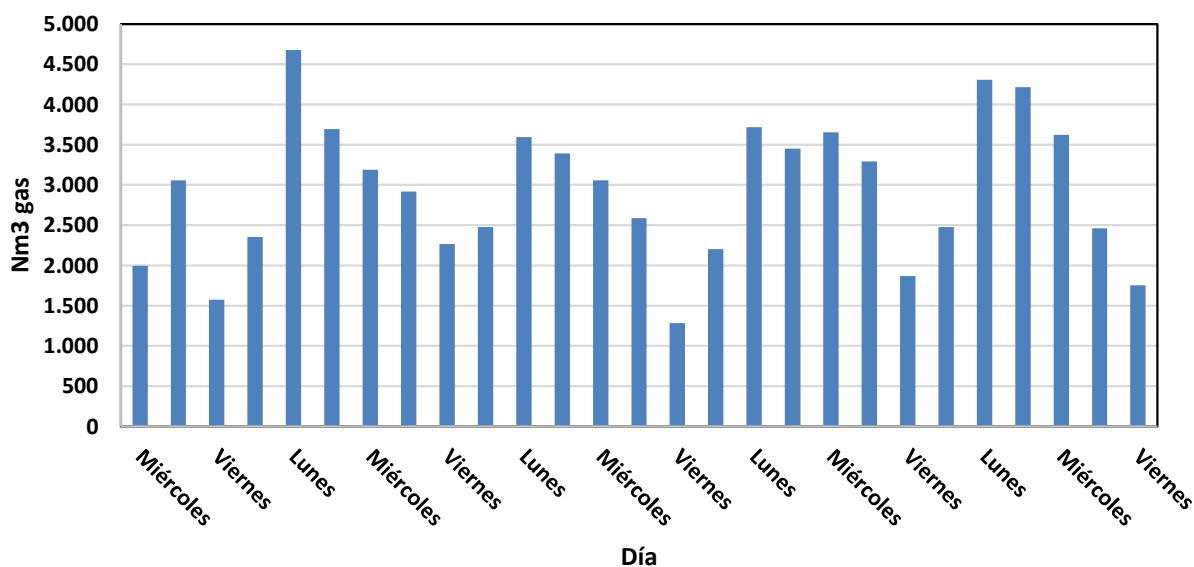


Figura A.2.17. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Junio 2019

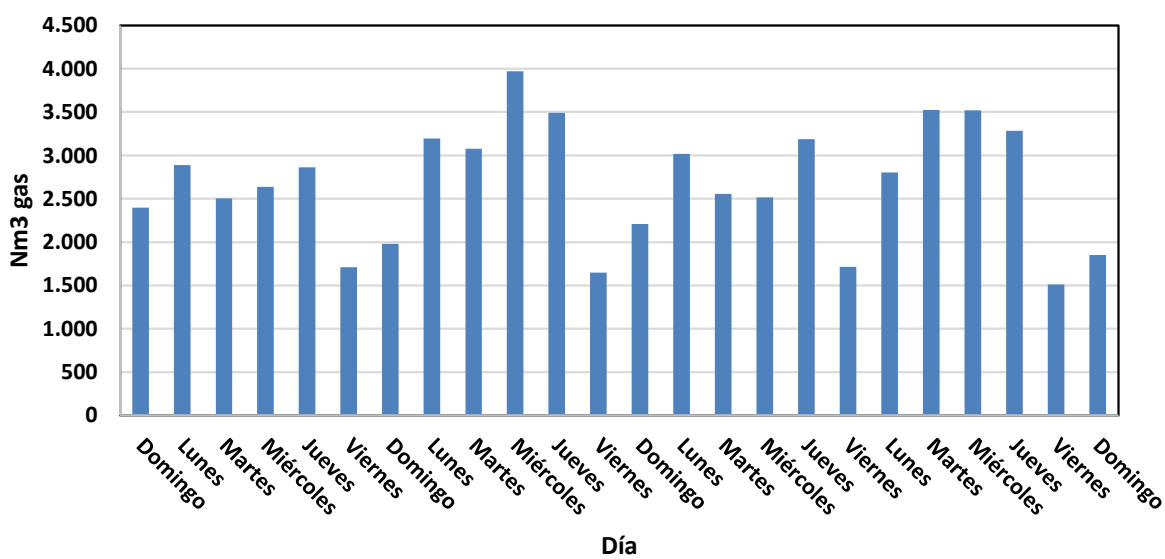


Figura A.2.18. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Julio 2019

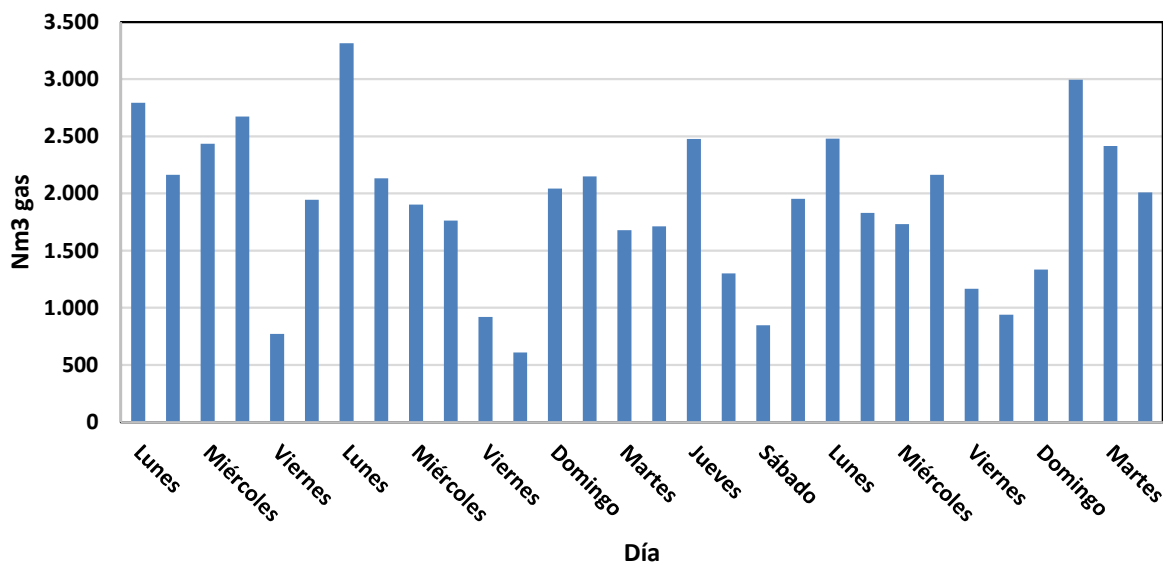


Figura A.2.19. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Agosto 2019

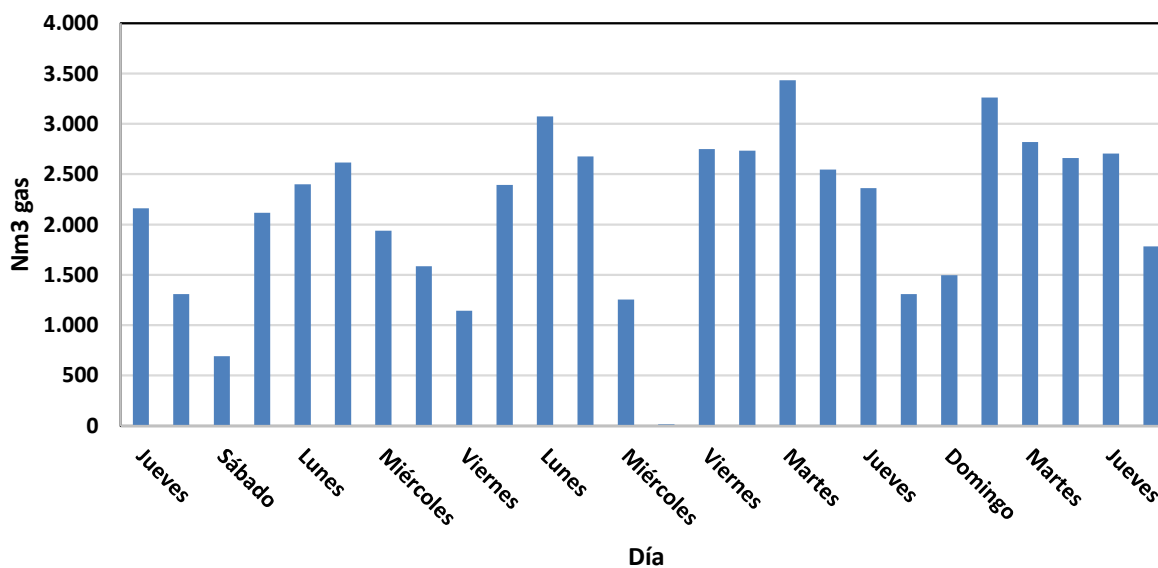


Figura A.2.20. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Septiembre 2019

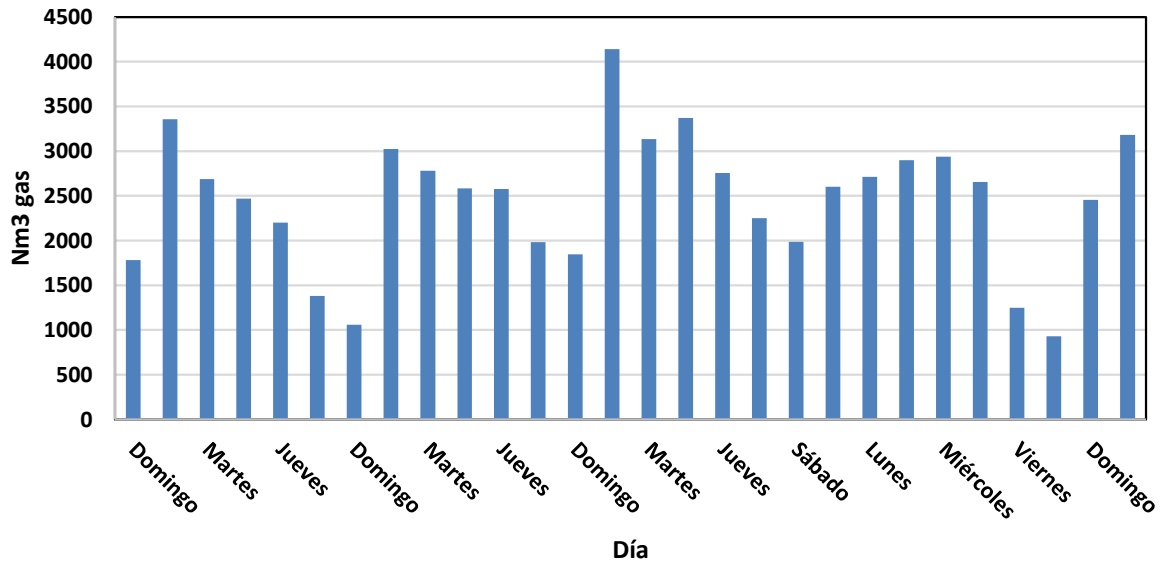


Figura A.2.21. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Octubre 2019

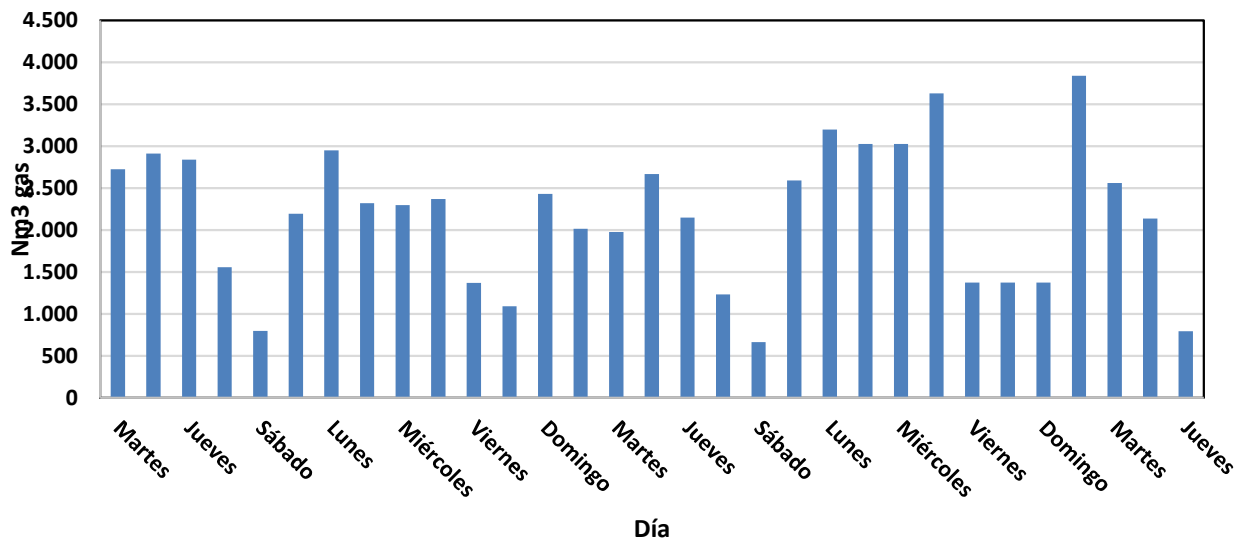


Figura A.2.22. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Noviembre 2019

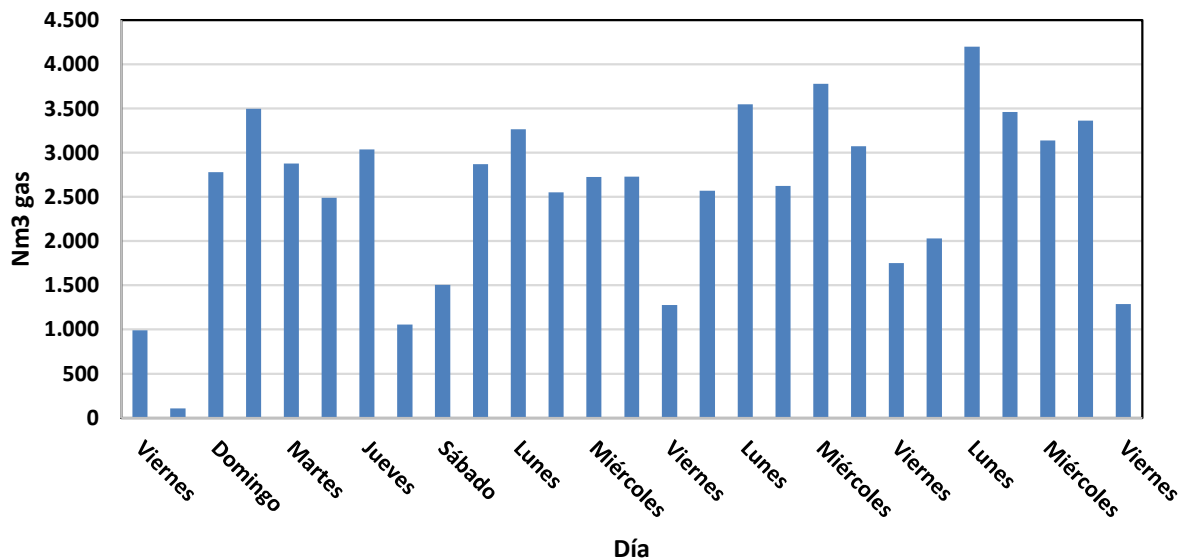


Figura A.2.23. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Diciembre 2019

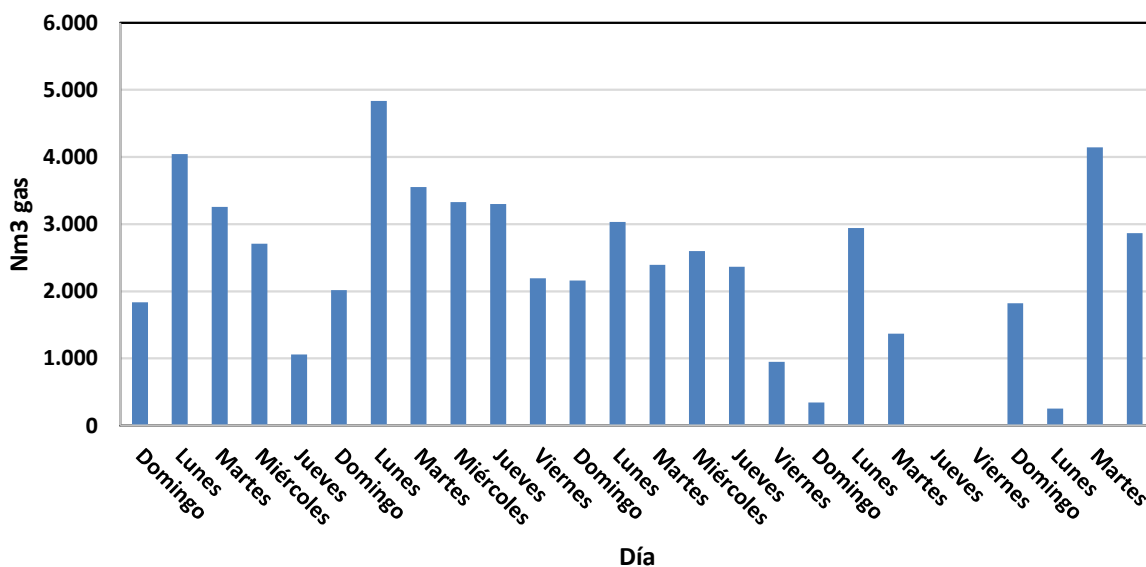


Figura A.2.24. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Enero 2020

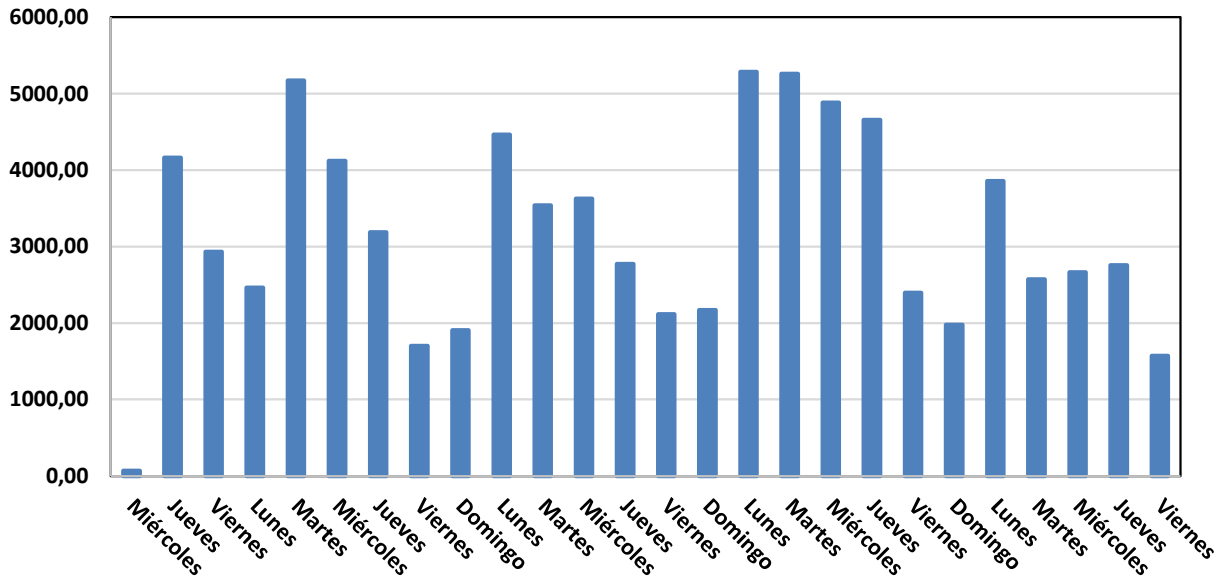


Figura A.2.25. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Febero 2020

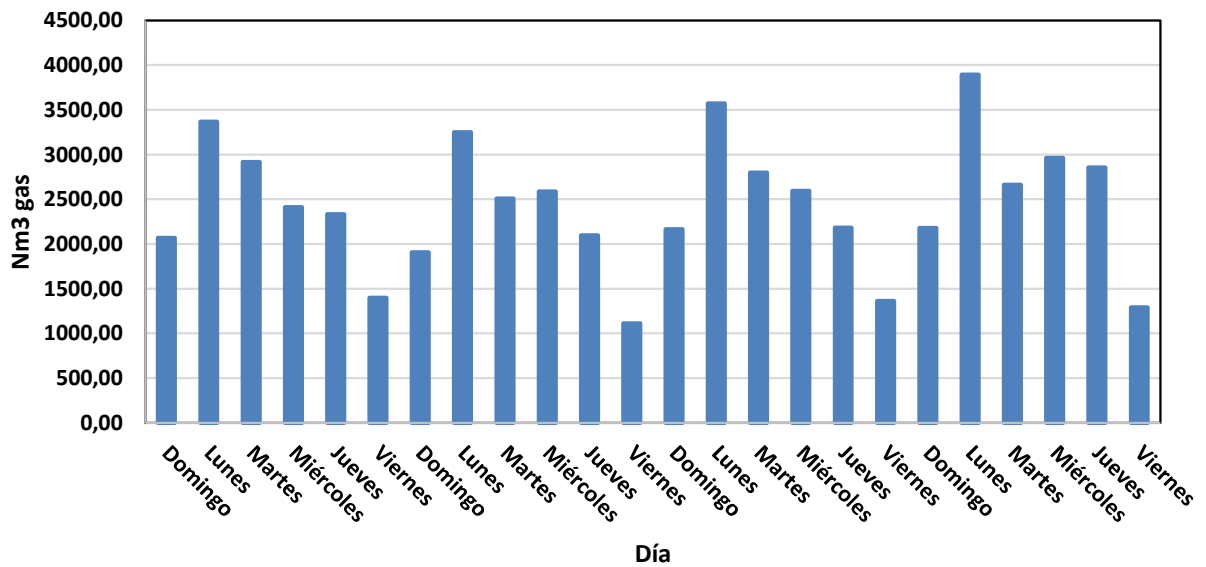


Figura A.2.26. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Marzo 2020

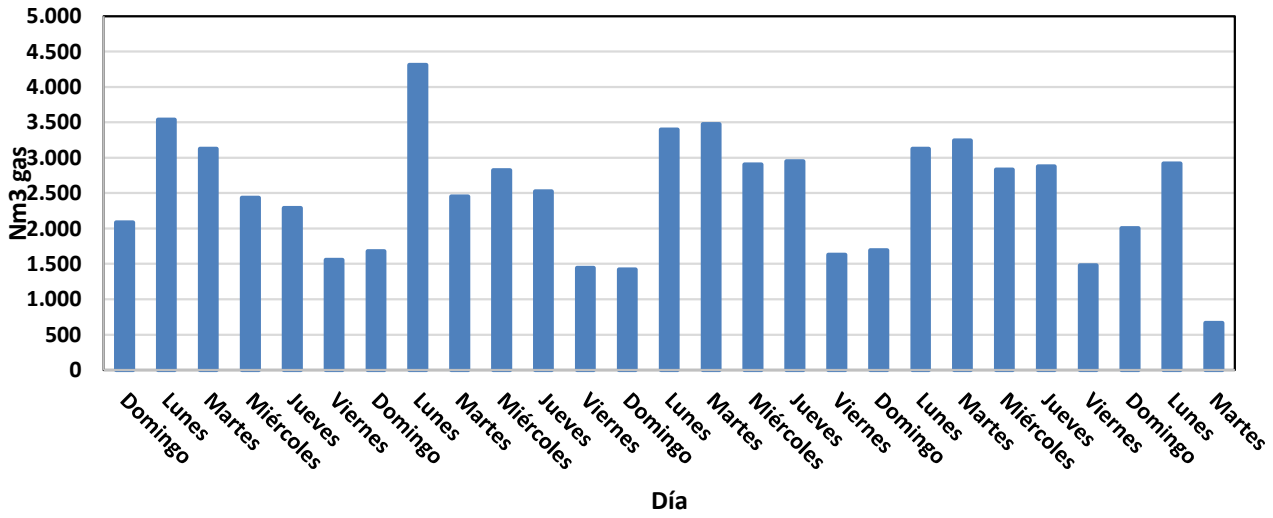


Figura A.2.27. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

Consumo Gas Abril 2020

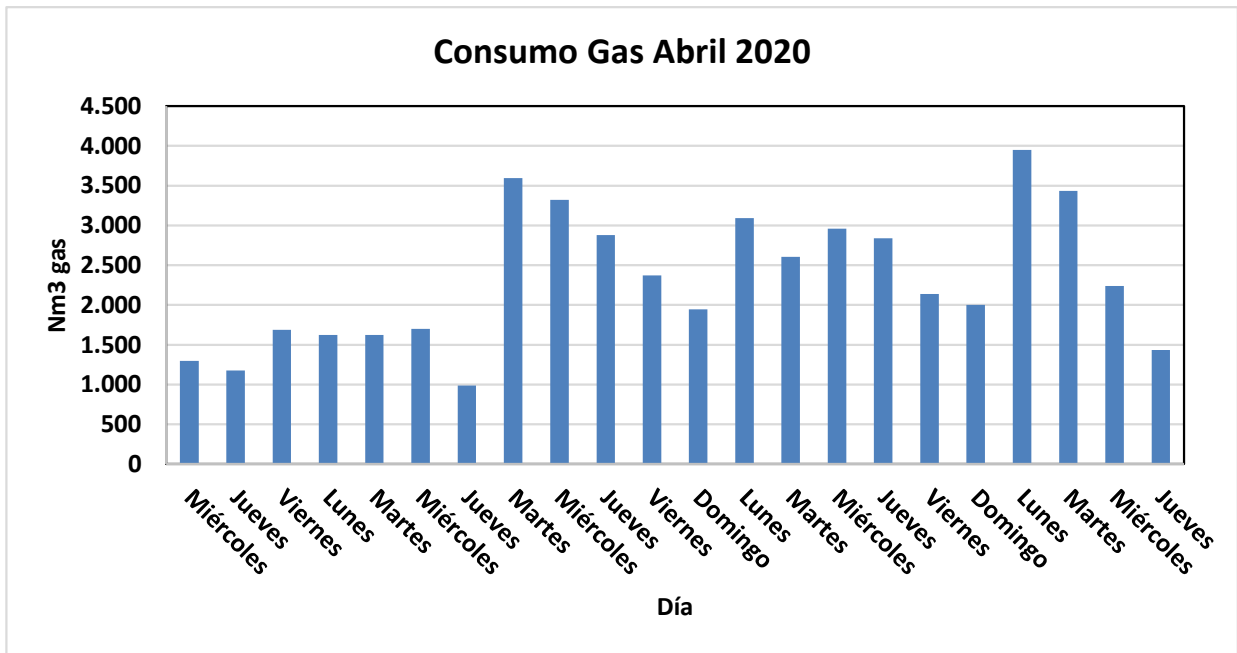


Figura A.2.28. Representación gráfica del consumo total de gas Nm³

A.3. Funcionamiento de las calderas

Los datos de funcionamiento de las cuatro calderas de la planta se muestran en las tablas A.3.1 a A.3.6.

Tabla A.3.1 Datos consumo y funcionamiento calderas el domingo 8 de marzo de 2020.

CALDERAS	Contador gas	Hora	Consumo m³
1, 2 y vapor	5333,20	22:00	
1, 2 y vapor	5390,90	23:00	57,7
1, 2 y vapor	5467,08	24:00	76,18
1, 2 y vapor	5544,00	1:00	76,92
1, 2 y vapor	5619,17	2:00	75,17
1, 2 y vapor	5695,20	3:00	76,03
1, 2 y vapor	5771,30	4:00	76,1
1, 2 y vapor	5841,30	5:00	70,00
1, 2 y vapor	5917,30	6:00	76,00
1, 2 y vapor	5993,48	7:00	76,18
1, 2 y vapor	6069,53	8:00	76,05
1, 2 y vapor	6145,52	9:00	75,99
1, 2 y vapor	6213,58	10:00	68,06
1, 2 y vapor	6289,83	11:00	76,25
1, 2 y vapor	6352,83	12:00	63,00
1, 2 y vapor	6427,40	13:00	74,57
1, 2 y vapor	6501,60	14:00	74,20
1 Y 2	6560,77	15:00	59,17
1 Y 2	6619,87	16:00	59,10
1, 2 y vapor	6695,6	17:00	75,73
1, 2 y vapor	6771,68	18:00	76,08
1, 2 y vapor	6833,63	19:00	61,95
1, 2 y vapor	6900,15	20:00	66,52
1, 2 y vapor	6974,12	21:00	73,97
1 Y 2	6999,12	22:00	25,00
1 Y 2	7045,63	23:00	46,51
1 Y 2	7104,6	24:00	58,97
Total m³			1771,40

Tabla A.3 .2 Datos consumo y funcionamiento calderas el domingo 15 de marzo de 2020.

CALDERAS	Contador ξ	Hora	Consumo m³
1, 2 y vapor	10705,40	22:00	
1, 2 y vapor	10743,17	23:00	37,77
1, 2 y vapor	10790,00	24:00	46,83
1, 2 y vapor	10829,63	1:00	39,63
1, 2 y vapor	10905,55	2:00	75,92
1, 2 y vapor	10973,67	3:00	68,12
1, 2 y vapor	11049,55	4:00	75,88
1, 2 y vapor	11125,08	5:00	75,53
1, 2 y vapor	11201,62	6:00	76,54
1, 2 y vapor	11278,22	7:00	76,60
1, 2 y vapor	11354,90	8:00	76,68
1, 2 y vapor	11425,80	9:00	70,90
1 Y 2	11491,60	10:00	65,80
1 Y 2	11528,18	11:00	36,58
1 Y 2	11581,27	12:00	53,09
1 Y 2	11622,92	13:00	41,65
1 Y 2	11650,25	14:00	27,33
1 Y 2	11703,88	15:00	53,63
1 Y 2	11748,77	16:00	44,89
1 Y 2	11802,20	17:00	53,43
1 Y 2	11863,25	18:00	61,05
1 Y 2	11919,95	19:00	56,70
1 Y 2	11982,10	20:00	62,15
1 Y 2	12040,00	21:00	57,90
1 Y 2	12082,40	22:00	42,40
1 Y 2	12103,00	23:00	20,60
1 Y 2	12150,50	24:00	47,50
total m³			1445,10

Tabla A.3.3 Datos consumo y funcionamiento calderas el domingo 23 de marzo de 2020.

CALDERAS	Contador gas	Hora	Consumo m³
2, 3 y vapor	16268,23	22:00	
2, 3 y vapor	16276,11	23:00	7,88
2, 3 y vapor	16355,85	24:00	79,74
2, 3 y vapor	16457,34	1:00	101,49
2, 3 y vapor	16539,99	2:00	82,65
2, 3 y vapor	16640,64	3:00	100,65
2, 3 y vapor	16718,53	4:00	77,89
2, 3 y vapor	16792,20	5:00	73,67
2, 3 y vapor	16848,60	6:00	56,40
2 Y 3	16877,75	7:00	29,15
2, 3 y vapor	16955,70	8:00	77,95
2, 3 y vapor	17034,79	9:00	79,09
2, 3 y vapor	17112,45	10:00	77,66
2 Y 3	17204,95	11:00	92,50
2 Y 3	17270,94	12:00	65,99
2 Y 3	17328,04	13:00	57,10
2 Y 3	17366,61	14:00	38,57
3	17377,15	15:00	10,54
3	17436,40	16:00	59,25
3	17492,74	17:00	56,34
3	17542,01	18:00	49,27
3	17585,47	19:00	43,46
3	17624,87	20:00	39,40
3	17635,00	21:00	10,13
3	17635,00	22:00	0,00
3	17651,80	23:00	16,80
3	17706,85	24:00	55,05
total m3			1438,62

Tabla A.3.4 Datos consumo y funcionamiento calderas el miércoles 18 de marzo de 2020.

CALDERA	Hora	Contador gas	Consumo m³
1 Y 3	22:00	13291,50	
1 Y 3	23:00	13300,02	8,52
1 Y 3	24:00	13364,60	64,58
1 Y 3	1:00	13415,60	51,00
1 Y 3	2:00	13459,17	43,57
1 Y 3	3:00	13503,20	44,03
1, 3 y vapor	4:00	13563,77	60,57
1, 3 y vapor	5:00	13621,58	57,81
1 Y 3	6:00	13633,40	11,82
1 Y 3	7:00	13673,22	39,82
1, 3 y vapor	8:00	13758,37	85,15
1, 3 y vapor	9:00	13835,58	77,21
1, 3 y vapor	10:00	13910,22	74,64
1, 3 y vapor	11:00	13987,17	76,95
1, 3 y vapor	12:00	14053,43	66,26
1 Y 3	13:00	14087,03	33,60
1 Y 3	14:00	14108,80	21,77
1 Y 3	15:00	14129,45	20,65
1 Y 3	16:00	14182,53	53,08
1 Y 3	17:00	14226,63	44,10
1 Y 3	18:00	14265,50	38,87
1 Y 3	19:00	14308,05	42,55
1 Y 3	20:00	14350,02	41,97
1 Y 3	21:00	14382,55	32,53
1 Y 3	22:00	14400,10	17,55
1 Y 3	23:00	14433,62	33,52
1 Y 3	24:00	14470,25	36,63
		total m3	1178,75

Tabla A.3.5 Datos consumo y funcionamiento calderas el jueves 19 de marzo de 2020.

CALDERA	Contador gas	Hora	Consumo m³
1 Y 3	14400,10	22:00	
1 Y 2	14433,62	23:00	33,52
1 Y 2	14470,25	24:00	36,63
1 Y 2	14486,20	1:00	15,95
1 Y 2	14486,20	2:00	0,00
1, 2 y vapor	14487,23	3:00	1,03
1, 2 y vapor	14575,88	4:00	88,65
1, 2 y vapor	14653,37	5:00	77,49
1 Y 2	14655,00	6:00	1,63
1 Y 2	14695,60	7:00	40,60
1, 2 y vapor	14779,93	8:00	84,33
1, 2 y vapor	14855,17	9:00	75,24
1, 2 y vapor	14924,05	10:00	68,88
1, 2 y vapor	14993,68	11:00	69,63
1, 2 y vapor	15052,98	12:00	59,30
1, 2 y vapor	15111,65	13:00	58,67
1, 2 y vapor	15133,80	14:00	22,15
1, 2 y vapor	15150,82	15:00	17,02
1, 2 y vapor	15167,00	16:00	16,18
1 Y 2	15218,47	17:00	51,47
1 Y 2	15274,77	18:00	56,30
1 Y 2	15324,02	19:00	49,25
1 Y 2	15380,55	20:00	56,53
1 Y 2	15432,95	21:00	52,40
1 Y 2	15457,60	22:00	24,65
1 Y 2	15496,07	23:00	38,47
1 Y 2	15548,03	24:00	51,96
total m3			1147,93

Tabla A.3 .6 Datos consumo y funcionamiento calderas el miércoles 25 de marzo de 2020.

CALDERA	Contador gas	Hora	Consumo m³
3 y vapor	18741,10	22:00	
3	18795,90	23:00	54,80
3 y vapor	18847,60	24:00	51,70
3 y vapor	18896,30	1:00	48,70
3 y vapor	18946,70	2:00	50,40
3 y vapor	18997,00	3:00	50,30
3 y vapor	19044,80	4:00	47,80
3	19092,90	5:00	48,10
	19117,20	6:00	24,30
2, 3 y vapor	19157,40	7:00	40,20
3 y vapor	19220,70	8:00	63,30
3 y vapor	19293,90	9:00	73,20
3 y vapor	19363,60	10:00	69,70
3	19435,60	11:00	72,00
3	19493,30	12:00	57,70
3	19533,90	13:00	40,60
	19542,80	14:00	8,90
3	19575,50	15:00	32,70
1 y 3	19633,70	16:00	58,20
1 y 3	19690,30	17:00	56,60
1 y 3	19709,00	18:00	18,70
1 y 3	19721,30	19:00	12,30
1 y 3	19730,40	20:00	9,10
	19745,90	21:00	15,50
	19745,90	22:00	0,00
3	19780,90	23:00	35,00
3	19837,30	24:00	56,40
total m3			1096,2

A.4. Consumo promedio de cada caldera

Para el cálculo del promedio de consumo de cada caldera, se han escogido las diferentes combinaciones que se han ido haciendo a lo largo de las diferentes secuencias de funcionamientos plasmadas en las tablas del apartado anterior. Cabe destacar que, a partir de datos reportados por la empresa, se sabía con antelación que las calderas 1, 2 y de vapor consumían lo mismo, y la caldera 3 consumía el doble de estas.

Para el cálculo del consumo de las calderas 1 y 2 se escoge el jueves 19 de marzo a base de ejemplo. Se espera hasta que el consumo se estabiliza, esto ocurre entre las 17:00 y las 24:00 horas. Se suma todo el consumo y se divide por el total de horas. El total es 383 m³ y las horas son 8. Esto da un consumo de ambas calderas de 48 m³/h.

Para el cálculo del consumo de la caldera 3, se ha escogido a base de ejemplo el miércoles 25 de marzo. Se espera a que se estabilice el consumo, esto tiene lugar entre 23:00 y 4:00 horas. Este intervalo de tiempo corresponde a un consumo de 248,9 m³ a lo largo de 5 horas. Por lo tanto, esto da un consumo de 49,78 m³/h.

A continuación, se presenta en la tabla A.4.1 el resumen del consumo de cada caldera en m³/h y Nm³/h. El factor de conversión entre los m³/h a Nm³/h es de 2,815.

Tabla A.4.1. Consumo de cada caldera

Consumo de cada caldera		
Unidad	m ³ /h	Nm ³ /h
Caldera 1	25	70
Caldera 2	25	70
Caldera 3	50	141
Caldera vapor	25	70

A.5. Catálogo de las válvulas seleccionadas

Extracción del catálogo válvulas seleccionadas:



VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO. INOX		
	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo: Inox CF8M / WCB • Disco: Inox AISI - 316 • Temp. máx.: 200° C • Pres. max: 40 BAR 	
AA 05 071	DN - 15	15,10
AA 05 072	DN - 20	19,22
AA 05 073	DN - 25	28,16
AA 05 074	DN - 32	41,89
AA 05 075	DN - 40	52,16
AA 05 076	DN - 50	78,96
AA 05 077	DN - 65	121,51
AA 05 078	DN - 80	151,71
AA 05 079	DN - 100	245,77



VÁLVULA BOLA INOX 2P CON ACTUADOR ELÉCTRICO

STAINLESS STEEL 2 P BALL VALVE WITH ELECTRIC ACTUATOR

Construcción: Acero inoxidable AISI 316 - Eje: No ajustable - Tórica: En el eje de vitón - Asientos: P.T.F.E. + 15% F.V. - Conexión: Rosca gas DIN-2999 - Presión: PN-63 - Vacío: 10-3 bar - Temperatura: -25°C a +180°C
 Construction in stainless steel AISI 316 - Toric: Ad's adjustable not on the axis of Viton - P.T.F.E seats + 15% - Connecting thread gas EV DIN-2999 - Pressure: PN63 - Empty: 10.03 bar - Temperature: -25C to + 180C



Otras tensiones: CONSULTAR
 Other voltage: CONSULT

Código Code	Medida Size	Motor Motor	Voltaje Voltage	Tiempo máximo a 90° Operación 90° time	Precio €/ud. Price €/ut
CO 60 031	1/2"	J3C S-20	24 a 240 VAC/VDC	10 seg	366,70
CO 60 032	3/8"	J3C S-20		10 seg	366,59
CO 60 033	1/2"	J3C S-20		10 seg	370,16
CO 60 034	3/4"	J3C S-20		10 seg	376,41
CO 60 035	1"	J3C S-20		10 seg	389,04
CO 60 036	1 1/4"	J3C S-20		10 seg	425,50
CO 60 037	1 1/2"	J3C S-35		10 seg	574,99
CO 60 038	2"	J3C S-55		14 seg	724,04

VÁLVULA BOLA BRIDAS INOX/INOX CON ACT. ELÉCTRICO

FLANGED BALL VALVE STAINLESS STEEL / STAINLESS STEEL WITH ELECTRIC ACTUATOR

Cuerpo: Acero inoxidable AISI-316 - Bola y eje: Acero inoxidable AISI-304 - Tórica: En el eje de vitón - Asientos: P.T.F.E. + 15% F.V. - Extremos bridas: DN 2501 PN-16 - Presión máx.: PN-16 - Temperatura: -20°C +180°C
 Body: Stainless Steel AISI-316 - Ball and Shaft: Stainless Steel AISI-316 - O-ring on the shaft Viton - Seats PTFE + 15% FV - External flanged to DIN 2501 / PN-16 - Pressure max: PN-16 - Temperature: -20 + 180 °C



Otras tensiones: CONSULTAR
 Other voltage: CONSULT

Código Code	Medida Size	Motor Motor	Voltaje Voltage	Tiempo máximo a 90° Operación 90° time	Precio €/ud. Price €/ut
CO 60 088	DN15	J3C S-20	24 a 240 VAC/VDC	10 seg	464,10
CO 60 089	DN20	J3C S-20		10 seg	503,86
CO 60 090	DN25	J3C S-20		10 seg	541,30
CO 60 091	DN32	J3C S-20		10 seg	641,04
CO 60 092	DN40	J3C S-35		10 seg	806,15
CO 60 093	DN50	J3C S-55		14 seg	1.025,93
CO 60 094	DN65	J3C S-55		14 seg	1.315,55
CO 60 095	DN80	J3C S-85		30 seg	1.683,17
CO 60 096	DN80	J3C H-140	85 a 240 VAC/VDC	34 seg	2.297,30
CO 60 097	DN100	J3C H-300		58 seg	4.000,54
CO 60 098	DN125	J3C H-300		58 seg	5.027,63

A.6. Coste de tonelada de vapor generado

A continuación, se presenta como se ha obtenido el coste de tonelada vapor generado por la caldera de vapor y el coste por hora de funcionamiento.

BOILER DATA SHEET		
CHARACTERISTIC MODEL "150"		
Equipment drawing	N° PFI30168Q-EA	
Max permissible steam temperature	181	°C
Max permissible steam pressure	9,2	bar eff
Volume of water in normal operating condition (normal level)	1,085	m3
Volume of steam in normal operating condition (normal	0,534	m3
Water surface (normal level)	2,5	m2
Heating surface	29,4	m2
Total empty weight ±10%	3750	kg
Total weight in normal operating condition ±10%	4835	kg
Total weight of boiler full of water (test) ±10%	5369	kg
IV. 1 Characteristics primary fuel		
Production of steam	1,5	t/h
Feed water temperature (at supply limit)	80	°C
Burner setting power	1008	Kw
Efficiency on NCV at 100% load, isolated blowdowns and loss through walls as per EN 12953	90	±1 %
Max burner power	1127	kW
Max admissible boiler power	1260	kW
V OPERATING CHARACTERISTICS		
Reference documents covering operating mode in boiler plant	BW	
Operating mode applied	P.S.P	
Water feed control type	ON/OFF	
	MOD.	
Primary fuel control type	NUM	
Primary fuel rate change	1 to 7	
Max permissible steam working pressure	7,74	bar eff
Min permissible steam working pressure	6	bar eff
VII. 2 Primary fuel		
Type of fuel	Natural gas	
NVC	10,17	kWh/Nm3
Supply pressure	300	mbar
Supply temperature	>0	°C
Rate of consumption at nominal power (minimum available flowrate required for operation))	111	Nm3/h
Rate of consumption under minimum stable condition	16	Nm3/h
VII. 3 FEED WATER		

Flowrate	1,575	m ³ /h
Temperature (at pump suction)	80	°C
Minimum pressure at pump suction (NPSH)	1,6	bar eff
VIII. 2Flue gases		
Characteristics for primary fuel		
Outlet temperature (at supply limit) 224 °C	224	°C
Max flowrate (wet flue gases) 1434 Nm ³	1434	Nm ³ /h
NO _x content	< 100	mg/Nm ³
CO content	< 100	mg/Nm ³

Como se puede ver en la ficha técnica de la caldera, esta es capaz de producir 1,5 toneladas por hora de vapor. Y teniendo en cuenta que el kWh de gas natural cuesta 0,030€⁴ de media, el caudal nominal de gas es 111 Nm³/h, el poder calorífico superior de gas es de 11,87 kWh/Nm³, se obtiene que el coste por tonelada es de 22,57 €.

Para la obtención del coste por horas de producción, como ya se sabe que el caudal de vapor generado es de 1,5 Tm/h y el coste es 22,57 €/Tm, se obtiene un coste del 33,87 €/h.

A.7. Hoja técnica del caudalímetro

A continuación, se presenta la hoja técnica del caudalímetro.

⁴ Dato aportado por la propia empresa.

spirax sarco

TI-P193-01
MI Issue 1

Medidor de caudal TFA para vapor saturado

Descripción

El medidor de caudal TFA de Spirax Sarco está diseñado sólo para uso con vapor saturado y funciona según el principio de impacto (Target), midiendo la fuerza de impacto ejercida sobre un disco sólido circular por el flujo del fluido. La tensión se convierte en un caudal másico con compensación que puede ser transmitido a través de una salida 4-20 mA o de pulsos. Los medidores TFA incorporan función de caudal totalizado y comunicaciones Modbus (RTU).

Quando la instalación lo requiere: disponemos de 2 x casquillos centradores para los dos tornillos inferiores de la conexión de brida - Consulte la tabla de selección de 'Kits de casquillos centradores' en la página 4).

Nota: El kit de casquillos centradores se debe pedir para el tipo de brida de montaje utilizado en su aplicación - para un ejemplo típico ver 'Cómo pasar pedido' en la página 4.

Tamaños y conexiones

El TFA está diseñado para montar entre bridas. Disponemos de los para instalar entre los siguientes tamaños de bridas:

DN25, DN32, DN40 y DN50
Bridas EN 1092-1 PN16, PN25 y PN40.
Japanese Industrial Standard JIS 20
Korean Standard KS 20.

1", 1½", 1¼" y 2"
Bridas ASME B 16.5 Clase 150 y 300.

Nota: El medidor de caudal TFA deberá instalarse en una línea fabricada de acuerdo con BS 1600 o ASME B 36.10 Schedule 40 o equivalente EN 1092 PN16 / EN 10216-5. Para otros estándares/schedules, contactar con Spirax Sarco.

Información técnica

Protección	IP65 con prensacables correcto
Alimentación eléctrica	Lazo de 24 Vcc
Señales salida	4 - 20 mA
proporcional al caudal másico o energía	Salida pulsos: (V_{max} 28 Vcc R_{min} 10 k Ω)
Puerto de comunicaciones	Modbus RTU EIA 232C (RS 232)

Características

El medidor de caudal TFA incorpora una electrónica que proporciona una señal de salida con compensación de densidad. Tiene una pantalla de LCD en la caja de electrónica y en la que se puede visualizar caudal total, caudal instantáneo, energía, presión y temperatura. La unidad visualizadora M750 puede usarse para dar una indicación remota, usando la salida 4-20 mA.

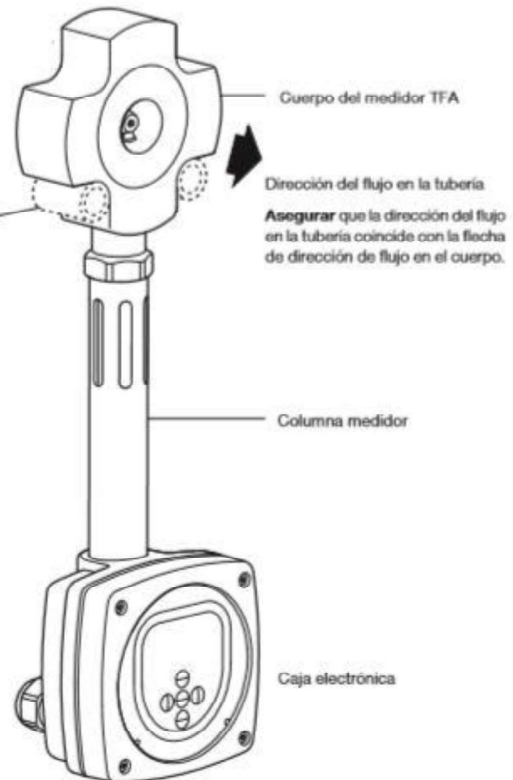
'Incertidumbre del Sistema', hasta 95% de seguridad (2 STD): (de acuerdo con ISO 17025)

±2% del valor medido entre el 10% y el 100% del máximo caudal.

±0.2% FSD, entre el 2% y el 10% del máximo caudal.

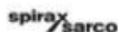
Rango : hasta 10:1

Como el TFA es una unidad que contiene todo lo necesario, la 'incertidumbre' es para el sistema completo. Muchos medidores de caudal afirman una 'incertidumbre' para la unidad de tubería y una 'incertidumbre' real del sistema, los valores individuales de 'incertidumbre' de muchos equipos auxiliares, como transmisores de presión diferencial, deberían añadirse al valor de la unidad de tubería.

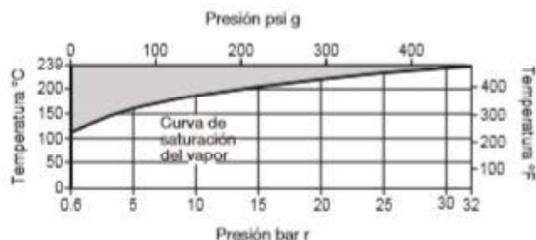


Materiales

Cuerpo medidor	Acero inoxidable Serie 300
Interiores	Acero inoxidable 431 S29 / Serie 300
Columna	Acero inoxidable Serie 300
Caja electrónica	Aluminio LM25



Rango de operación



El medidor **no puede** trabajar en esta zona debido a limitaciones del software.

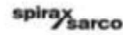
Presión máxima admisible	32 bar r a 239°C	(464 psi g @ 462°F)
Temperatura máxima admisible	239°C	(462°F)
Temperatura mínima admisible	0°C	(32°F)
Presión máxima de trabajo	Flujo horizontal	32 bar r a 239°C (464 psi g @ 462°F)
	Flujo vertical	7 bar r a 170°C (101 psi g @ 338°F)
Nota: Ver las instrucciones de instalación y mantenimiento que acompañan al TFA donde se indican todas las restricciones operativas		
Presión mínima de trabajo	0,6 bar r	(8,7 psi g)
Temperatura máxima de trabajo (saturación)	239°C	(462°F)
Temperatura máxima ambiente de electrónica	55°C	(131°F)
Máximo nivel de humedad	90% RH (sin condensación)	90% RH (sin condensación)
Prueba hidráulica:	52 bar r	(754 psi g)

**Caída de presión
mbar**

%Qmax	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
DN25	6	25	56	100	156	225	306	399	505	624
DN32	5	19	43	76	118	170	232	303	383	473
DN40	3	10	23	42	65	94	127	166	210	260
DN50	2	6	14	25	39	56	76	100	126	156

Pulgadas H₂O

%Qmax	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
DN25	2,5	10,0	22,5	40,1	62,6	90,1	122,7	160,2	202,8	250,4
DN32	1,9	7,6	17,1	30,4	47,5	68,3	93,0	121,5	153,8	189,8
DN40	1,0	4,2	9,4	16,7	26,1	37,8	51,1	66,8	84,5	104,3
DN50	0,6	2,5	5,6	10,0	15,6	22,5	30,7	40,1	50,7	62,6

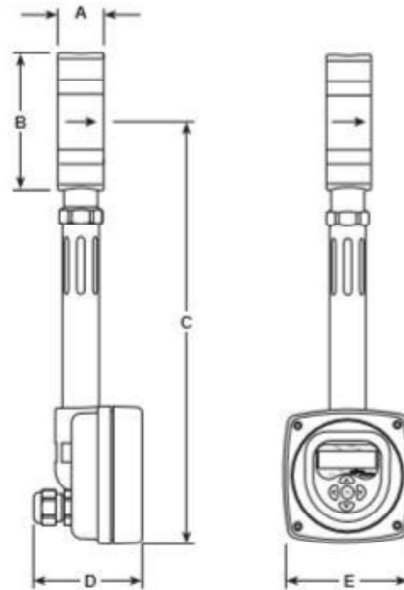


Dimensiones/peso
(aproximados) in mm y kg

Tamaño	A	B	C	D	E	Peso
DN25	35	105	323	80	105	2,85
DN32						2,95
DN40						2,86
DN50						2,91

(aproximados) in pulgadas y libras

Tamaño	A	B	C	D	E	Peso
DN25	1,38	4,13	12,72	3,15	4,13	6,28
DN32						6,50
DN40						6,30
DN50						6,41



Dimensionado del medidor de caudal TFA para vapor saturado - Instalación Horizontal

Notas:

1. Caudales de vapor máximos calculados a las máximas presiones diferenciales.
2. Para capacidades en instalaciones Verticales, contactar con Spirax Sarco.
3. La tabla inferior sólo se debe usar como guía.

Caudal en kg/h

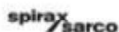
Caudales máximos en kg/h a diferentes presiones bar r.

Tamaño	Presión vapor bar r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	32
DN25	Caudal máximo	155	187	215	239	260	281	299	316	333	349	378	418	479	534	584	603
	Caudal mínimo	15	19	21	24	26	28	30	32	33	35	38	42	48	53	58	60
DN32	Caudal máximo	254	307	352	391	427	460	490	519	546	572	621	686	786	876	957	989
	Caudal mínimo	25	31	35	39	43	46	49	52	55	57	62	69	79	88	96	99
DN40	Caudal máximo	396	480	550	611	667	718	765	809	853	894	969	1071	1227	1367	1494	1544
	Caudal mínimo	40	48	55	61	67	72	77	81	85	89	97	107	123	137	149	154
DN50	Caudal máximo	619	749	859	955	1042	1122	1196	1265	1333	1396	1514	1673	1918	2136	2335	2412
	Caudal mínimo	62	75	86	95	104	112	120	126	133	140	151	167	192	214	233	241

Caudal en lb/h

Caudales máximos en lb/h a diferentes presiones psi g.

Tamaño	Presión vapor psi g	14,5	29	44	58	73	87	102	116	131	145	174	218	290	363	435	464
DN25	Caudal máximo	342	412	474	527	573	619	659	697	734	769	833	922	1056	1177	1287	1329
	Caudal mínimo	33	42	46	53	57	62	66	71	73	77	84	93	106	117	128	132
DN32	Caudal máximo	560	677	776	862	941	1014	1080	1144	1204	1261	1369	1512	1733	1931	2110	2180
	Caudal mínimo	55	68	77	86	95	101	108	115	121	126	137	152	174	194	212	218
DN40	Caudal máximo	873	1058	1213	1347	1470	1583	1687	1784	1881	1971	2136	2361	2705	3014	3294	3404
	Caudal mínimo	88	106	121	134	148	159	170	179	187	196	214	236	271	302	328	340
DN50	Caudal máximo	1365	1651	1894	2105	2297	2474	2637	2789	2939	3078	3338	3688	4228	4709	5148	5318
	Caudal mínimo	137	165	190	209	229	247	265	278	293	309	333	368	423	472	514	531



Seguridad, instalación y mantenimiento

Ver Instrucciones de Instalación y Mantenimiento que acompañan al producto (IM-P193-02 y IM-P193-03).

Los siguientes puntos sirven de orientación:

1. El medidor de caudal TFA debe ser montado con el lado cóncavo del disco de impacto mirando aguas arriba, con un tramo recto de tubería mínimo de 6 veces el diámetro aguas arriba y de 3 veces el diámetro aguas abajo. En estos tramos rectos no deben instalarse válvulas, accesorios o cambios de sección. Cuando sea necesario aumentar el tamaño de la tubería aguas arriba, el tramo recto debe ser de 12 veces el diámetro. Igualmente, cuando el Spirax Sarco TFA se instala después de dos curvas de 90°, de una válvula reductora de presión o de una válvula parcialmente abierta, se precisa de un tramo recto de 12 diámetros.
2. Es importante que los diámetros internos de las tuberías aguas arriba y aguas abajo estén lisas. Lo ideal es utilizar tubo sin soldadura y que no tenga partículas de soldadura en el diámetro interno.
3. Debe cuidarse de instalar el TFA concéntricamente en la tubería usando los casquillos centradores (se piden por separado). Si no se realiza de esta manera pueden producirse errores en la medición.
4. El TFA puede montarse en cualquier posición con una presión de línea hasta 7 bar r (102 psi g).
5. Para trabajar con vapor debe seguirse una buenas prácticas de instalación:
 - Drenaje correcto de la línea usando la purga adecuada.
 - Adecuada alineación y soporte de la tubería.
 - Las reducciones deben efectuarse con reducciones excéntricas.
 - No calorifugar (aislar térmicamente) el cuerpo del TFA o las bridas.

Kit de casquillos centradores

Tamaño TFA	Tipo de brida			
	EN 1092 PN16 PN25 PN40	ASME 150	ASME 300	JIS 20 KS 20
DN25 1"	1930283		1930283	1930283
DN25 1"	1930283		1930283	1930283
DN25 1"	1930283		1930483	
DN50 2"	1930283	1930283	1930583	

Cómo pasar pedido

Ejemplo: 1 medidor de caudal Spirax Sarco TFA para vapor saturado de DN25 con kit de casquillos centradores 1930283, adecuado para instalar entre bridas EN 1092 PN40. Para trabajar con vapor saturado a 10 bar r, caudal máximo 349 kg/h.

Nota: Par información detallada del visualizador ver la documentación correspondiente al Spiax Sarco M750.

Derechos de autor del software

Algunos programas informáticos contenidos en este producto [o dispositivo] han sido desarrollados por Spirax-Sarco Limited.

Copyright © Spirax-Sarco Limited 2013

Todos los derechos reservados

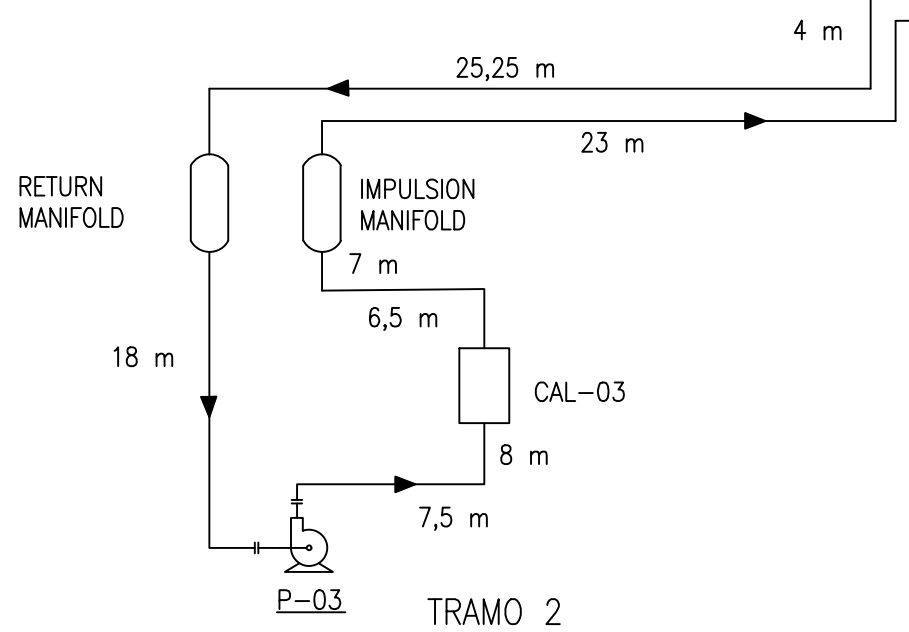
Spirax-Sarco Limited concede al usuario legal de este producto (o dispositivo) el derecho de utilizar el programa exclusivamente en el marco del funcionamiento legítimo del producto (o dispositivo). No se concede ningún otro derecho bajo esta licencia. En particular, y sin perjuicio de la generalidad de lo anterior, no se puede utilizar, reproducir, distribuir, transferir, copiar o reproducir en su totalidad o en parte, de ninguna manera o forma que no fuese para lo expresamente fue concedida sin el consentimiento previo de Spirax-Sarco Limited por escrito.

A.8. Cálculo del rediseño de la recirculación de betún

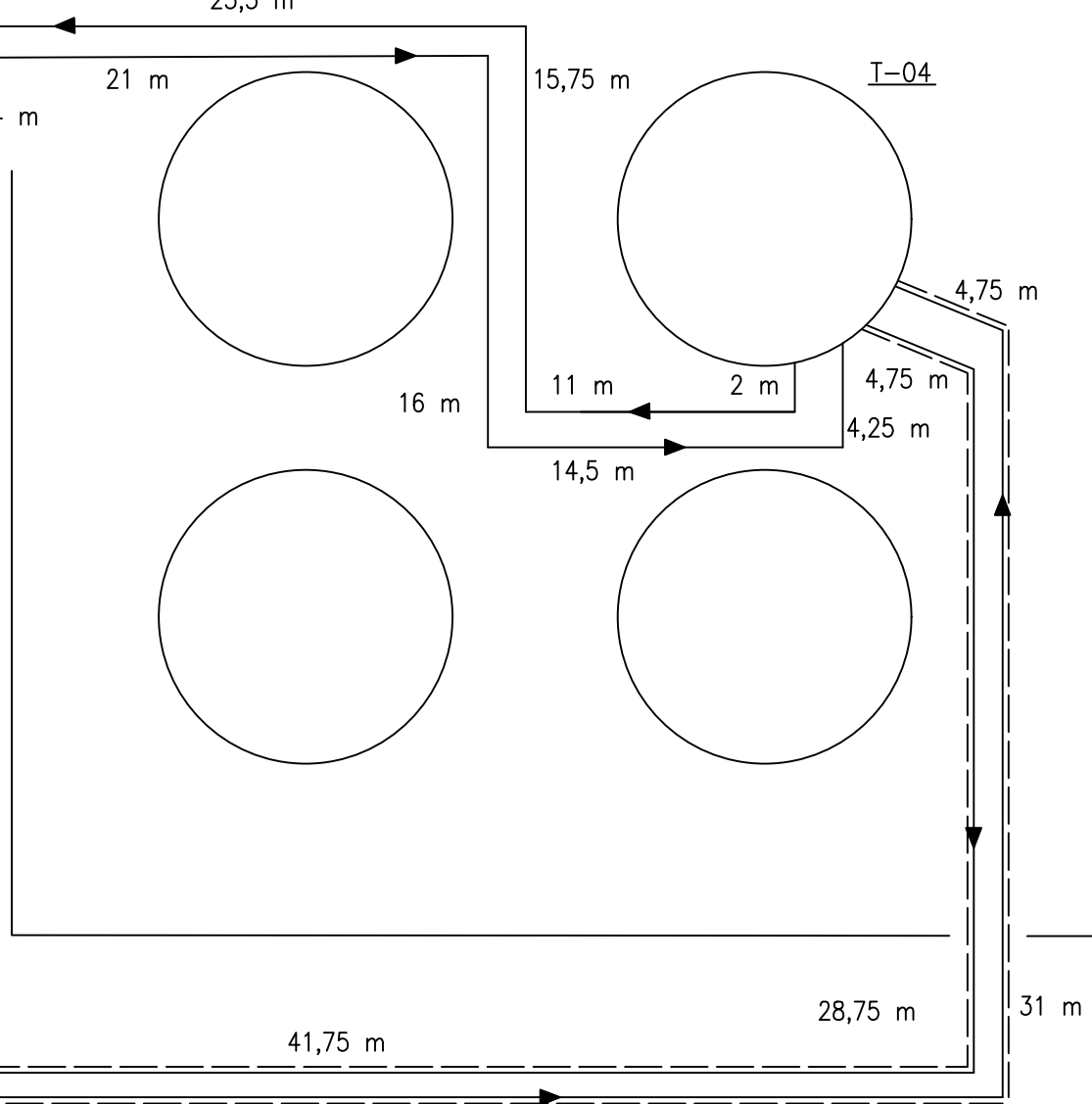
En este apartado se procede a desarrollar el cálculo tanto de la pérdida de carga como de la potencia necesaria en una línea de recirculación de betún. También se calcula la pérdida de carga y la potencia necesaria en la línea de acompañamiento de aceite a la línea de recirculación de betún; y la línea de aceite que se utiliza para calentar el tanque.

La distribución y longitud de las tuberías que forman la línea de recirculación, la línea de acompañamiento de aceite y la línea de aceite al tanque se muestran en el *plot plan* que se presenta a continuación:

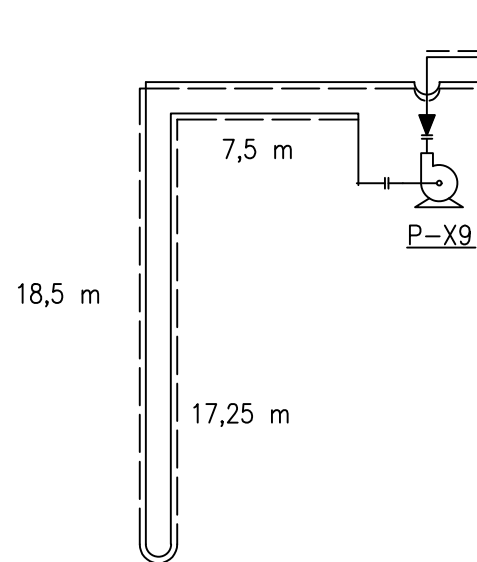
LÍNEA DE ACEITE A TANQUE



TRAMO 1



LÍNEA DE RECIRCULACIÓN DE BETÓN +
LÍNEA DE ACOMPAÑAMIENTO DE ACEITE



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		Nº A.8	
RECIRCULACIÓN BETÚN		Escala 1:4	Fecha 30-abril

A.8.1. Línea de recirculación de betún

Tal y como se ha explicado anteriormente, la ecuación utilizada para calcular la pérdida de carga es la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + w_b = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + w_t + w_f \quad (\text{A.8.1})$$

Debido a que las velocidades V_1 y V_2 son iguales, y los otros términos se han considerado despreciables, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho} = gz_2 + w_f = gz_2 + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} + (\sum N \cdot K) \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{A.8.2})$$

Dónde:

- ‘ P_1+P_2 ’ corresponde a la pérdida de carga de la línea (Pa).
- ‘ ρ ’ corresponde a la densidad del betún (kg/m^3).
- ‘ g ’ corresponde a la gravedad (m/s^2).
- ‘ z_2 ’ corresponde a la altura del tanque a la que retorna el betún (m).
- ‘ w_f ’ hace referencia a las pérdidas por fricción (m^2/s^2).
- ‘ f ’ hace referencia al factor de fricción.
- ‘ L ’ corresponde a la longitud de la tubería (m).
- ‘ D ’ corresponde al diámetro de la tubería (m).
- ‘ V ’ corresponde a la velocidad del fluido (m/s).
- ‘ N ’ corresponde al número de codos que hay en la tubería.
- ‘ K ’ corresponde al coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular.

El valor de cada uno de los parámetros se puede encontrar en la tabla A.8.1.

Tabla A.8.1. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	102	m^3/h
Diámetro tubería (D)	0,152	m
Velocidad (V)	1,55	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s^2
Altura (z_2)	15	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	210	m
Nº de codos de 90°	8	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Nº de codos de 45°	2	
Factor K codos 45° ^[25]	0,204	
Nº de curvas de 180°	1	
Factor K curvas 180° ^[25]	0,639	
Densidad betún (ρ)	940	kg/m^3

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\frac{P_1+P_2}{940} = 9,81 \cdot 15 + w_f$$

$$= 9,81 \cdot 15 + 0,02 \cdot \frac{210}{0,152} \cdot \frac{1,55^2}{2} + (\sum 8 \cdot 0,383 + 2 \cdot 0,204 + 1 \cdot 0,639) \cdot \frac{1,55^2}{2} \quad (A.8.3)$$

Dónde se obtiene la pérdida de carga (P₁+P₂), la cual tiene un valor de 1,74 bar.

A continuación, se procede a calcular la potencia necesaria para bombear el producto por la línea de recirculación. Para ello, ha sido necesaria la curva H-Q de la bomba P-09, la cual se encuentra a continuación.

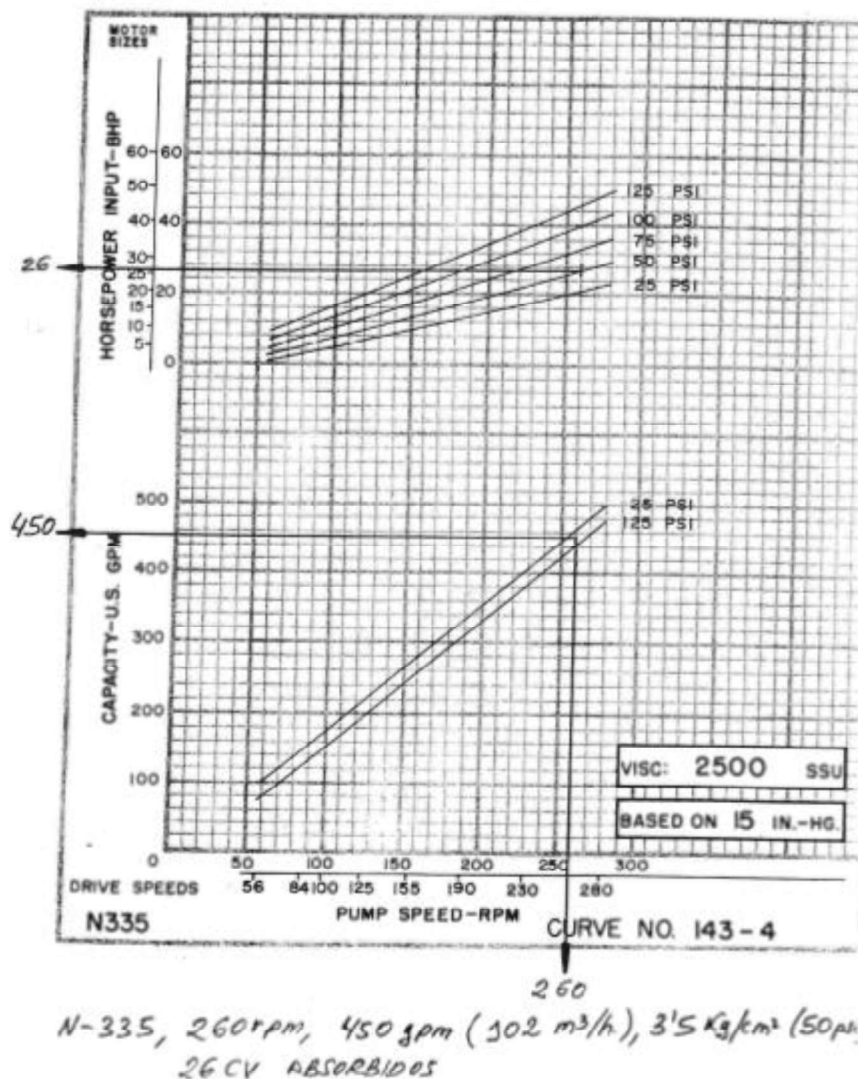


Figura A.8.1. Curva H-Q de la bomba P-09.

Tal y como se aprecia en la figura, a partir de la capacidad (102 m³/h que equivalen a 450 gpm) y de la velocidad de la bomba (260 rpm), se obtiene la presión de aspiración de esta que equivale a 50 psi (3,45 bar).

A partir de este valor, de la pérdida de carga, y el caudal nominal de la bomba, se ha podido calcular la potencia necesaria y ver si la bomba sería capaz de transportar el producto a lo largo de toda la tubería. La ecuación utilizada se encuentra a continuación y los valores de los parámetros se pueden encontrar en la tabla A.8.2.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} = \frac{Q \cdot p}{\eta} \quad (\text{A.8.4})$$

Dónde:

- ‘P’ equivale a la potencia necesaria de la bomba (W).
- ‘Q’ equivale al caudal nominal de la bomba (m³/s).
- ‘p’ equivale a la presión total (Pa).
- ‘η’ corresponde al rendimiento de la bomba.

Tabla A.8.2. Parámetros utilizados para el cálculo de la potencia necesaria.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	102	m/h
Presión de aspiración	3,44	bar
Pérdida de presión	1,74	bar
Presión total (p)	5,19	bar
Rendimiento de la bomba (η)	0,75	

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$P = \frac{0,0283 \cdot 518973}{0,75} = 19,6 \cdot 10^3 \text{ W} \quad (\text{A.8.5})$$

Dónde se obtiene la potencia necesaria (P), la cual tiene un valor de 19,6 kW.

Teniendo en cuenta que la bomba tiene una potencia nominal de 30 kW, se observa que sí que será posible bombear el betún por la línea de recirculación.

A.8.2. Circuito de aceite

Pérdida de carga de la línea de aceite de acompañamiento

La ecuación utilizada para calcular la pérdida de carga es la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + w_b = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + w_t + w_f \quad (\text{A.8.6})$$

Debido a que las velocidades V_1 y V_2 son iguales, y los otros términos se han considerado despreciables, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho} = gz_2 + w_f = gz_2 + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} + (\sum N \cdot K) \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{A.8.7})$$

El valor de cada uno de los parámetros se puede encontrar en la tabla A.8.3.

Tabla A.8.3. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	14	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,0508	m
Velocidad (V)	1,92	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Altura (z ₂)	15	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	210	m
Nº de codos de 90°	8	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Nº de codos de 45°	2	
Factor K codos 45° ^[25]	0,204	
Nº de curvas de 180°	1	
Factor K curvas 180° ^[25]	0,639	
Densidad aceite (ρ)	758	kg/m ³

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\begin{aligned} \frac{P_1 + P_2}{758} &= 9,81 \cdot 15 + w_f \\ &= 9,81 \cdot 15 + 0,02 \cdot \frac{210}{0,0508} \cdot \frac{1,92^2}{2} + (\sum 8 \cdot 0,383 + 2 \cdot 0,204 + 1 \cdot 0,639) \cdot \frac{1,92^2}{2} \quad (\text{A.8.8}) \end{aligned}$$

Dónde se obtiene la pérdida de carga (P₁+P₂), la cual tiene un valor de 2,33 bar.

Pérdida de carga de la línea de aceite a tanque T-04

La ecuación utilizada para calcular la pérdida de carga es la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{\rho} + gz_1 + w_b = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{\rho} + gz_2 + w_t + w_f \quad (\text{A.8.9})$$

Debido a que las velocidades V₁ y V₂ son iguales, y los otros términos se han considerado despreciables, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho} = gz_2 + w_f = gz_2 + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} + (\sum N \cdot K) \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{A.8.10})$$

Como se ha explicado anteriormente, esta línea se divide en dos tramos. El valor de cada uno de los parámetros se puede encontrar en las tablas A.8.4y A.8.5.

Tabla A.8.4. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga (tramo 1).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	14	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,0508	m
Velocidad (V)	1,92	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Altura (z ₂)	5	m
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	170	m
Nº de codos de 90°	14	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Densidad betún (ρ)	758	kg/m ³

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\begin{aligned} \frac{P_1 + P_2}{758} &= 9,81 \cdot 5 + w_f \\ &= 9,81 \cdot 5 + 0,02 \cdot \frac{170}{0,0508} \cdot \frac{1,92^2}{2} + (\sum 14 \cdot 0,383) \cdot \frac{1,92^2}{2} \end{aligned} \quad (\text{A.8.11})$$

Dónde se obtiene la pérdida de carga (P₁+P₂), la cual tiene un valor de 1,38 bar.

Tabla A.8.5. Parámetros utilizados para el cálculo de la pérdida de carga (tramo 2).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	140	m ³ /h
Diámetro tubería (D)	0,150	m
Velocidad (V)	2,13	m/s
Gravedad (g)	9,81	m/s ²
Factor de fricción (f)	0,02	
Longitud tubería (L)	50	m
Nº de codos de 90°	6	
Factor K codos 90° ^[25]	0,383	
Densidad betún (ρ)	758	kg/m ³

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$\frac{P_1 + P_2}{758} = w_f = 0,02 \cdot \frac{50}{0,150} \cdot \frac{2,13^2}{2} + (\sum 6 \cdot 0,383) \cdot \frac{2,13^2}{2} \quad (\text{A.8.12})$$

Dónde se obtiene la pérdida de carga (P₁+P₂), la cual tiene un valor de 0,15 bar.

La pérdida de carga total de la línea de aceite que se utiliza para calentar el tanque T-04 es de 1,53 bar.

Potencia necesaria en el circuito de aceite total

A continuación, se procede a calcular la potencia necesaria para bombear el aceite por todo el circuito estudiado. Para ello, ha sido necesaria la curva H-Q de la bomba P-03, la cual se encuentra a continuación.

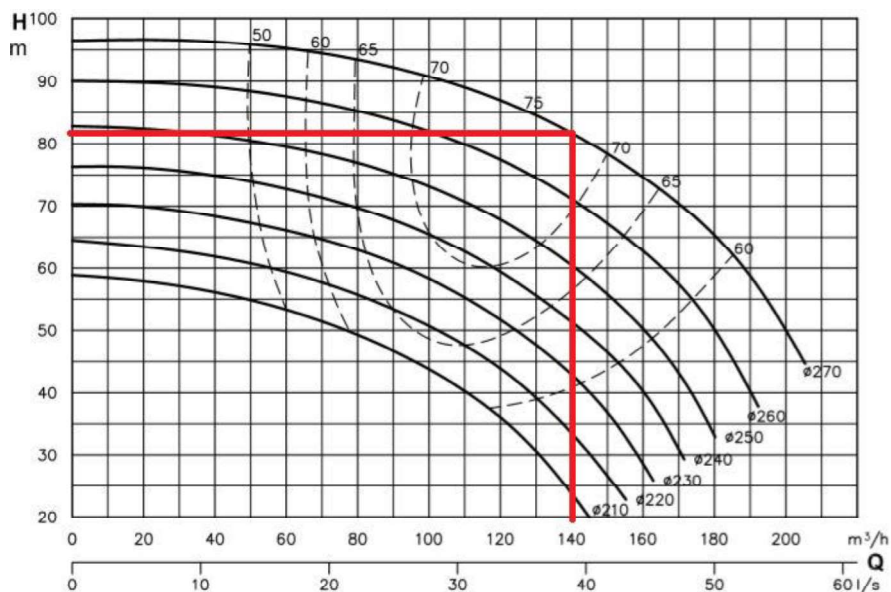


Figura A.8.2. Curva H-Q de la bomba P-03.

Tal y como se aprecia en la figura, a partir del caudal de 140 m³/h y un diámetro de rodete de 270 mm, se obtiene la altura de aspiración de la bomba que equivale a aproximadamente 82 m. Si se multiplica por la densidad del aceite (758 kg/m³) y por la gravedad, se obtiene una presión de aspiración de 6,10 bar.

A partir de este valor, de la pérdida de carga total del circuito de aceite, y el caudal, se ha podido calcular la potencia necesaria y ver si la bomba sería capaz de transportar el producto a lo largo de todo el circuito. La ecuación utilizada se encuentra a continuación y los valores de los parámetros se pueden encontrar en la tabla A.8.6.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} = \frac{Q \cdot p}{\eta} \tag{A.8.13}$$

Tabla A.8.6. Parámetros utilizados para el cálculo de la potencia necesaria (tramo 1).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	140	m/h
Presión de aspiración	6,10	bar
Pérdida de presión	3,86	bar
Presión total (p)	9,95	bar
Rendimiento de la bomba (η)	0,75	

Sustituyendo cada parámetro por su valor, la ecuación queda como se ve a continuación.

$$P = \frac{0,00389 \cdot 995309}{0,75} = 51609 \text{ W} \tag{A.8.14}$$

Dónde se obtiene la potencia necesaria (P), la cual tiene un valor de 51,6 kW.

Teniendo en cuenta que la bomba tiene una potencia nominal de 45 kW, se observa que no será posible bombear el aceite por el circuito estudiado.

Cambio de rodete de la bomba P-03

Para poder bombear el aceite a lo largo del circuito, se ha decidido cambiar el rodete de la bomba P-03 ya que al disminuirlo, la presión de aspiración será menor y por lo tanto se necesitará menos potencia para bombear el producto.

Para ello, a partir de la curva H-Q, se ha encontrado la altura de aspiración a partir de un rodete de 230 mm y de un caudal de 140 m³/h tal y como se puede ver a continuación.

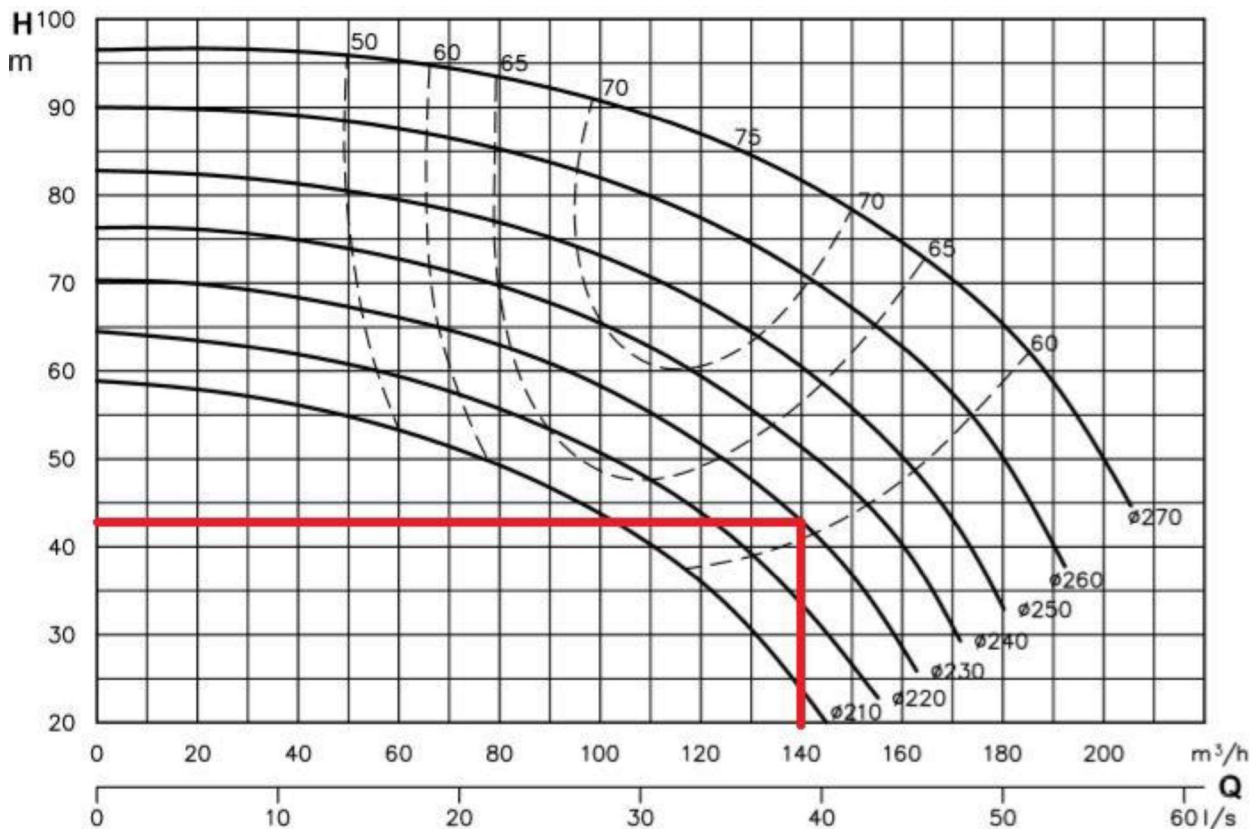


Figura A.8.3. Curva H-Q de la bomba P-03.

Tal y como se puede comprobar, la altura de aspiración es de aproximadamente 43 m. Multiplicando este valor por la densidad del aceite (758 kg/m³) y por la gravedad, se obtiene una presión de aspiración de 3,20 bar.

A partir de este valor, de la pérdida de carga total del circuito de aceite, y el caudal, se ha calculado la potencia necesaria para bombear el producto. Los parámetros utilizados se encuentran a continuación.

Tabla A.8.7. Parámetros utilizados para el cálculo de la potencia necesaria (cambio de rodete).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal nominal (Q)	140	m/h
Presión de aspiración	3,20	bar
Pérdida de presión	3,86	bar
Presión total (p)	7,05	bar
Rendimiento de la bomba (η)	0,65	

Teniendo en cuenta que:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} = \frac{Q \cdot p}{\eta} \quad (A.8.15)$$

Y, sustituyendo cada parámetro por su valor:

$$P = \frac{0,00389 \cdot 705421}{0,65} = 42.205 \text{ W} \quad (A.8.16)$$

Dónde se obtiene una potencia necesaria de 42,2 kW. Teniendo en cuenta que la bomba tiene una potencia de 45 kW, en este caso sí que sería posible bombear el aceite por el circuito.

A.9. Evaluación económica

Para la evaluación económica se ha tenido en cuenta el coste de todas las mejoras propuestas.

A continuación, se explican las diferentes consideraciones que se han tenido en cuenta para elaborar el reporte de costes.

Consideraciones en la estimación del coste del rediseño de la línea de recirculación de betún

En la estimación del coste del rediseño de la recirculación se ha tenido en cuenta las tuberías necesarias, las válvulas, la mano de obra, el transporte, la cimentación para realizar el pilar donde iría suportada la tubería vertical, las legalizaciones y certificados, y el desmantelamiento de la anterior línea.

En la figura A.9.1 se puede ver el % del coste de cada componente del proyecto de mejora en la recirculación.

Rediseño de la recirculación de betún

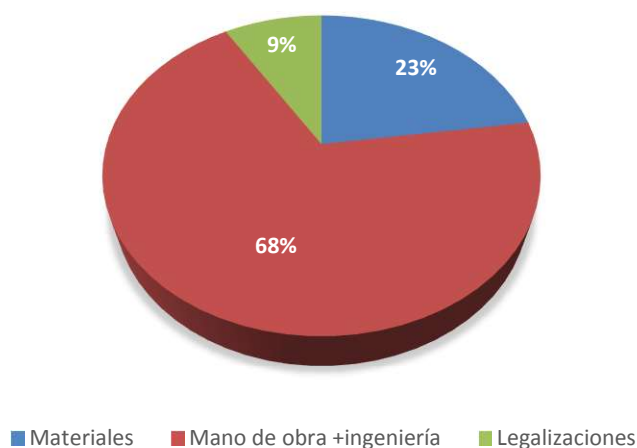


Figura A.9.1. Representación gráfica del coste de los materiales, la mano de obra y legalizaciones del proyecto.

Consideraciones para la estimación del coste de las mejoras del circuito de vapor

En la estimación de los costes de la mejora en el circuito de vapor se ha considerado todas las válvulas automatizadas, el caudalímetro, los transmisores, la instalación, las horas de ingeniería, legalizaciones y certificados.

En la figura A.9.2 se puede ver el % del coste de cada componente del proyecto de mejora en el circuito de vapor.

Mejoras en el circuito de vapor

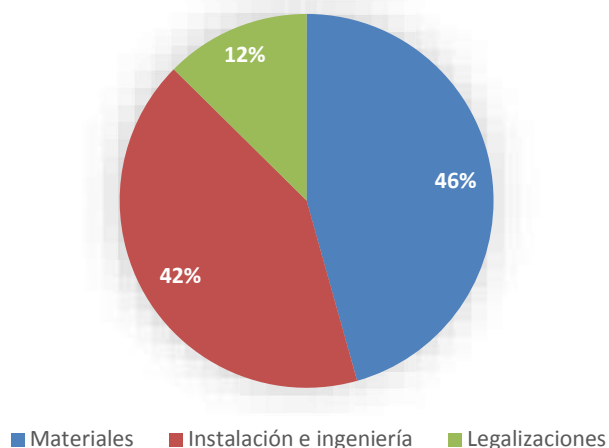


Figura A.9.2. Representación gráfica del coste de los materiales, instalación, ingeniería y legalizaciones del proyecto.

Consideraciones para la estimación del coste del cambio de la estación llenado de betún

En la estimación del coste del cambio de la estación llenado de betún que consistiría en llevar la báscula, bomba dosificadoras y todos los elementos participan en el llenado hasta el tanque T-61, se ha tenido en cuenta el coste del desmontaje de unidad de llenado de los tanques T-54 y T-55, el coste del montaje de la nueva línea, las posibles obras que se tengan que hacer para adecuar el terreno, las horas de ingeniería, las legalizaciones y certificados.

En la figura A.9.3 se puede ver el % del coste de cada componente del proyecto en el cambio de la estación de llenado.

Cambio de la localización de la operación de llenado

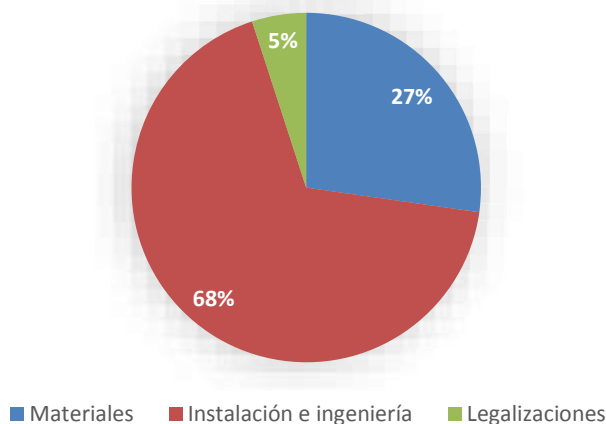


Figura A.9.1. Representación gráfica del coste de los materiales, la mano de obra y legalizaciones del proyecto.

A continuación, se presenta la tabla con el coste unitario de los transmisores del circuito de vapor.

Tabla A.9.1. Coste de cada uno de los transmisores.

	Modelo fabricante	Precio/unidad		Unidad	Total
Transmisor de temperatura	WIKA/HART ^[1]	347	€/unidad	8	2.776
Transmisor de presión	Vegabar 83	284,28	€/unidad	11	3.127,08
Transmisor de nivel	Vegabar 82	254,62	€/unidad	3	736,86
Indicador de temperatura	WIKA TR10-B ^[2]	163,96	€/unidad	2	327,92
Indicador de presión	Vega PLISCOM ^[4]	198	€/unidad	2	396
Transmisor de nivel radar	Rosemount 2120 ^[3]	488,26	€/unidad	1	488,26
Transmisor alto nivel	Vegapoint 21 ^[5]	143	€/unidad	1	143
Total					8.022,12

[1] Wika España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.wika.es/tr10_c_es_es.WIKA> [Visitado 12 Junio 2020].

[2] Wika España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.wika.es/tr10_c_es_es.WIKA> [Visitado 12 Junio 2020].

[3] Rosemount. 2020. [online] Disponible en : <<https://www.instrumart.com/products/25475/rosemount-2120-liquid-level-switch>> [Visitado 12 June 2020].

[4] ManoMano España. 2020. [online] Disponible en : <https://www.manomano.es/conmutadores-de-presion-y-conmutadores-de-aire-para-caldera-3379?model_id=11453663&g=1&referer_id=689879&gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNuZEgokucA_AFhhziz5rpITQVy27VDM-ckOrNvT2zNH0INjid15pcsaAmnHEALw_wcB> [Visitado 12 Junio 2020].

[5] RS Online. 2020. [online] Disponible en : <[https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel-y-accesorios-para-interruptores/4683514?cm_mmc=ES-PLA-DS3A_-google_-CSS_ES_ES_Automatizaci%C3%B3n_y_Control_de_Procesos_Whoop_-ES:Whoop!\)+Sensores+de+Nivel+y+Accesorios+para+Interruptores_-4683514&matchtype=&pla-338734579190&gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNuv5ugdznURoZoM4jtdeR3lGuFXvow-LKvhUhh9oAapcpfVe8OolugaAmyXEALw_wcB&glsr=aw.ds](https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-nivel-y-accesorios-para-interruptores/4683514?cm_mmc=ES-PLA-DS3A_-google_-CSS_ES_ES_Automatizaci%C3%B3n_y_Control_de_Procesos_Whoop_-ES:Whoop!)+Sensores+de+Nivel+y+Accesorios+para+Interruptores_-4683514&matchtype=&pla-338734579190&gclid=Cj0KCQjwrIf3BRD1ARIsAMuugNuv5ugdznURoZoM4jtdeR3lGuFXvow-LKvhUhh9oAapcpfVe8OolugaAmyXEALw_wcB&glsr=aw.ds)> [Visitado 12 Junio 2020].

A.9.1 Cálculo del VAN y del TIR en el rediseño de la recirculación de betún

En este apartado se explicará en detalle los cálculos utilizados para comprobar si este proyecto será viable a partir del VAN y el TIR.

Para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), se ha utilizado la fórmula A.9.1 y los datos utilizados se pueden encontrar en la tabla A.9.2.

Tabla A.9.2. Datos utilizados para el cálculo del VAN.

Parámetro	Valor
Rentabilidad (%)	10
Inversión inicial (€)	58.000
Flujo de caja anual (€)	20.000
Años	4

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (\text{A.9.1})$$

Dónde:

- 'I' equivale a la inversión inicial.
- 'Qn' es el flujo de cada del año n.
- 'k' equivale a la tasa de interés (rentabilidad).
- 'N' equivale al número de años de la inversión.

Por lo tanto, sustituyendo los datos, la ecuación queda como se muestra a continuación:

$$VAN = -58.000 + \frac{20.000}{(1+0.01)^1} + \frac{20.000}{(1+0.01)^2} + \frac{20.000}{(1+0.01)^3} + \frac{20.000}{(1+0.01)^4} \quad (\text{A.9.1})$$

El VAN que se obtiene es de 5.397 €.

También se ha calculado la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Se puede observar a continuación en la ecuación A.9.2:

$$0 = -58.000 + \frac{20.000}{(1+k)^1} + \frac{20.000}{(1+k)^2} + \frac{20.000}{(1+k)^3} + \frac{20.000}{(1+k)^4} \quad (\text{A.9.2})$$

El TIR que se obtiene es del 14%.