



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Estudio de la viabilidad técnica y económica  
asociada a la reutilización de aguas procedentes de  
purga de caldera en una Planta de Valorización  
Energética de Residuos

Autor

Andrea Castillo Trueba

Director/es

Diego Ansótegui González  
María Peña Ormad Melero

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2016





Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D<sup>a</sup>. ANDREA CASTILLO TRUEBA

con nº de DNI 72085869M en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
MÁSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA, (Título del Trabajo)

Estudio de la viabilidad técnica y económica asociada a la reutilización de  
aguas procedentes de purga de caldera en una Planta de Valorización  
Energética de Residuos

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 1 de Febrero de 2016

Fdo: ANDREA CASTILLO TRUEBA



## **Estudio de la viabilidad técnica y económica asociada a la reutilización de aguas procedentes de purga de caldera en una Planta de Valorización Energética de Residuos – RESUMEN**

El presente proyecto se ha desarrollado en la empresa “Tratamiento Integral de Residuos de Cantabria S.L.U.” situada en el municipio de San Bartolomé de Meruelo, cuya actividad económica principal es la valorización o eliminación de los residuos urbanos de Cantabria mediante una Planta de Valorización Energética. El proceso de tratamiento que siguen los residuos es: reciclaje, compostaje o recuperación energética. El proyecto se centra en la planta donde se lleva a cabo la recuperación energética.

El objetivo principal es estudiar la viabilidad técnica y económica asociada a la reutilización del agua procedente de la purga continua de caldera para su posterior uso en el Circuito de Refrigeración y con ello determinar también su viabilidad a escala real. Además, con esta nueva línea se quiere conseguir un ahorro en los principales recursos de las instalaciones, agua y energía, y reducir el impacto medio ambiental que la planta pueda producir en el medio ambiente.

En primer lugar se realiza un estudio de repercusión ambiental y energética mediante datos de consumos y suposiciones con el que cumplir con los objetivos fijados, disminución consumo de agua y energía y disminución en la emisión de CO<sub>2</sub>. Se consigue ahorrar una cantidad importante de agua osmotizada, 2.400 m<sup>3</sup>, y en consecuencia, una menor captación de los pozos subterráneos que abastecen a las instalaciones, 3.690 m<sup>3</sup>. Además, se reduce el consumo de energía eléctrica con 10.520 KWh/año, aunque lo más significativo de esto son las 5 toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo eléctrico que se evitan emitir a la atmosfera.

El circuito se diseña para conducir el agua desde un *Tanque Flash* a presión encargado de recoger la purga de caldera hasta la entrada a las torres de refrigeración, pasando a través de dos intercambiadores de calor situados en el tanque de urea y en el tanque de agua desmineralizada con el fin de ceder su calor a estos fluidos y conseguir la temperatura adecuada para poder incorporarse en el Circuito de Refrigeración. El diseño se complementa con los planos de la línea y la estimación de costes asociados.

Durante el proyecto se lleva a cabo la realización de análisis químicos a las aguas para comprobar si los parámetros medidos están dentro de las especificaciones fijadas por el fabricante de las torres de refrigeración. Los resultados de dichos análisis resultan favorables con lo que es posible emplear el agua de purga como nueva línea de aporte.

Por tanto, se concluye que la reutilización del agua de purga de caldera como línea de aporte al Circuito de Refrigeración es viable desde el punto de vista técnico y económico, su coste estimado es de 21.420€. Para amortizar el proyecto son necesarios 22 años, pero esta no es prioritaria, en este caso prima el cuidado del principal recurso de la planta que son los pozos de agua subterránea, por lo que se decide llevar a cabo la instalación de la nueva línea.



## ÍNDICE

---

<b><u>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</u></b> .....	i
<b><u>RESUMEN</u></b> .....	iii
<b>1. <u>CONTEXTUALIZACIÓN</u></b> .....	1
<b>1.1. Introducción Planta de Valorización Energética</b> .....	2
<b>1.2. Objetivo y metodología</b> .....	3
<b>2. <u>CICLO DEL AGUA</u></b> .....	5
<b>2.1. Descripción Ciclo del Agua</b> .....	6
2.1.1. Ciclo Agua – Vapor .....	6
2.1.1.1. Origen y tratamiento de las aguas .....	6
2.1.1.2. Destino de las aguas .....	7
2.1.2. Circuito de Refrigeración.....	8
2.1.2.1. Origen y tratamiento de las aguas .....	8
2.1.2.2. Destino de las aguas .....	10
<b>2.2. Estimación de caudales</b> .....	11
2.2.1. Ciclo Agua – Vapor .....	11
2.2.2. Circuito de Refrigeración.....	12
<b>3. <u>PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE PURGA DE CALDERA</u></b> .....	15
<b>3.1. Definición alternativa propuesta de reutilización</b> .....	16
<b>3.2. Ventajas e inconvenientes previstos</b> .....	17
3.2.1. Ventajas previstas .....	17
3.2.2. Inconvenientes previstos .....	17
<b>3.3. Estudio de repercusión ambiental y energética</b> .....	18
3.3.1. Disminución consumo de agua .....	18
3.3.2. Disminución consumo energético .....	18
3.3.2.1. Calefactor.....	18
3.3.2.2. Planta de agua osmotizada.....	19
3.3.3. Disminución emisiones CO <sub>2</sub> asociadas.....	19
<b>3.4. Diseño nueva línea</b> .....	20
3.4.1. Diseño intercambiadores de calor .....	20
3.4.1.1. Intercambiador agua de purga – urea .....	20
3.4.1.2. Intercambiador agua de purga – agua desmineralizada .....	21
3.4.2. Diseño tubería.....	22
3.4.2.1. Cálculo diámetro tubería .....	22
3.4.2.2. Cálculo velocidad real en tubería .....	22
3.4.2.3. Comprobación tipo de flujo .....	22
3.4.2.4. Pérdida de carga total .....	23
<b>3.5. Análisis aguas de purga de caldera</b> .....	25
<b>3.6. Presupuesto</b> .....	26
<b>3.7. Planos nueva línea</b> .....	26
<b>4. <u>CONCLUSIONES</u></b> .....	27

**5. BIBLIOGRAFÍA.....29****ANEXO I**

FD - 10333 - X - 0002 Diagrama de flujo balance general de agua

FD - 10333 - X - 0001 Diagrama de flujo balance de vapor y condensado

**ANEXO II**

Calidad agua empleada en la instalación

Análisis de las aguas de purga de caldera

**ANEXO III**

Disminución consumo agua

Disminución consumo energético

Disminución emisiones CO<sub>2</sub> asociadas

Diseño intercambiadores de calor

Diseño de tubería

Comprobación tipo de flujo: número de Reynolds

Pérdida de carga

Plano vista isométrica línea purga de caldera

Plano vista alzado línea purga de caldera

Plano vista planta línea purga de caldera

Plano vista perfil línea purga de caldera

**ANEXO IV**

Presupuesto

**ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA**

Tabla 1. Especificaciones agua de purga y urea .....	20
Tabla 2. Datos diseño de intercambiador de calor purga - urea .....	21
Tabla 3. Especificaciones agua de purga y agua desmineralizada .....	21
Tabla 4. Datos diseño de intercambiador de calor purga – agua desmineralizada.....	21
Tabla 5. Factor de pérdidas en función del accesorio .....	24

**ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA**

Figura 1. Esquema funcionamiento Planta Valorización Energética.....	3
Figura 2. Esquema de tratamiento del agua destinada al Ciclo Agua - Vapor .....	6
Figura 3. Esquema Ciclo Agua - Vapor .....	7
Figura 4. Esquema de tratamiento del agua destinada al Circuito de Refrigeración.....	9
Figura 5. Esquema Circuito de Refrigeración.....	10
Figura 6. Producción media de agua desmineralizada (m <sup>3</sup> /día) para Planta Norte y Planta Sur durante el año 2014.....	11
Figura 7. Producción media de agua osmotizada (m <sup>3</sup> /día) durante el año 2014.....	12
Figura 8. Consumo medio de agua osmotizada (m <sup>3</sup> /día) en el Circuito de Refrigeración durante el año 2014.....	13
Figura 9. Esquema actual para el circuito de agua de purga de caldera desde el calderín hasta el tanque Tipo E.....	16
Figura 10. Esquema propuesto para el aprovechamiento de la purga continua de caldera como aporte al Circuito de Refrigeración .....	17
Figura 11. Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción.....	23

## **CONTEXTUALIZACIÓN**

---

El presente proyecto se ha desarrollado dentro de la empresa “Tratamiento Integral de Residuos de Cantabria S.L.U.”, ubicada en San Bartolomé de Meruelo, cuya principal actividad económica es la valorización o eliminación de los residuos urbanos de Cantabria mediante una Planta de Valorización Energética. Durante el proceso seguido para el tratamiento de los residuos urbanos existen tres etapas: reciclaje, compostaje o recuperación energética.

A continuación, se realiza una breve descripción de la Planta de Recuperación Energética, donde se lleva a cabo el estudio, y los objetivos del proyecto.

## **1.1. INTRODUCCIÓN PLANTA DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA**

La función de la planta es obtener energía eléctrica a partir de la conversión de residuos en energía térmica, reduciendo así el volumen a depositar en vertedero. El Combustible Derivado del Residuo (CDR) se obtiene en la Planta de Reciclado y Compostaje, mediante la separación de los residuos que no son susceptibles de ser reciclados (vidrio, metales, papel, cartón y plásticos reciclables) o compostados (materia orgánica). El CDR obtenido, se transporta hasta la Planta de Valorización Energética, donde se almacena en un foso de almacenamiento y se introduce en el horno.

En el **horno** se producen dos etapas: conversión de los residuos en gases y la oxidación de estos dando como resultado una combustión completa. Para ello se emplea un horno con tecnología del tipo parrilla de rodillos. La combustión se alcanza gracias a un aporte de oxígeno mediante la inyección de aire mediante dos corrientes: aire primario, necesario para la combustión; y aire secundario, para asegurar la combustión completa.

El calor liberado por la combustión de los gases se transfiere hacia la **caldera de recuperación**, que mediante las superficies de intercambio de calor transforma el agua de alimentación en vapor sobrecalentado a alta presión. La caldera, de tipo acuotubular, se divide en cuatro áreas: cámara de radiación, evaporadores, sobrecalentadores y economizadores, consiguiendo así rebajar la temperatura de los gases y obtener vapor sobrecalentado.

Los **gases de salida de la caldera** se tratan de varias formas:

- **Sistema de reducción catalítica no selectiva:** Empleado para la reducción de  $\text{NO}_x$  mediante la inyección de producto Carbamín (solución al 40% de urea).
- **Lavado en seco:** Esta etapa se realiza en el reactor “CIRCOCLEAN” para la eliminación de contaminantes HCl,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , HF, dioxinas y furanos, empleando como medio de absorción hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y carbón activo en polvo.
- **Filtración:** Esta etapa se realiza mediante un filtro de mangas situado a la salida del reactor, donde el gas de combustión es depurado a los límites exigidos de partículas en gases tratados.

Finalmente, los gases son descargados a la atmósfera a través de la **chimenea**.

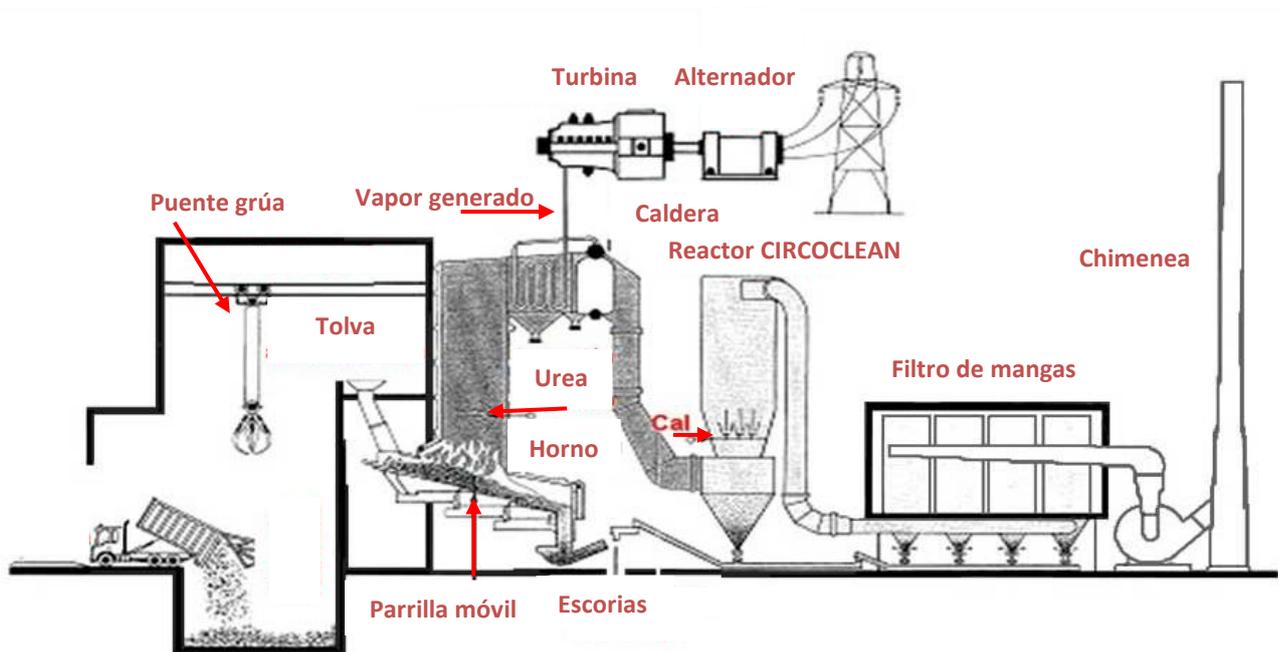
Los **materiales residuales** siguen diferentes tratamientos de forma que, las escorias de la parrilla de rodillos del horno tienen como destino final el vertedero. Las cenizas de caldera y

los materiales residuales procedentes del sistema de depuración de gases son evacuados en grandes sacas para su posterior gestión en empresas dedicadas a ello.

El vapor vivo generado en la caldera es aprovechado en un **turbogruppo** para generar energía eléctrica, este consta de una turbina acoplada a un alternador trifásico. La potencia producida oscila sobre 9,5 MW, sirviendo para autoconsumo y para exportar a la red eléctrica.

Mediante los **aerocondensadores** se consigue transformar el vapor de escape de la turbina y el vapor proveniente del generador en condensado, el cual es enviado de nuevo al desgasificador mediante bombas (1) (2).

En la Figura 1 se muestra un breve esquema de la Planta de Valorización Energética.



*Figura 1. Esquema funcionamiento Planta Valorización Energética*

## 1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El principal objetivo de este proyecto es estudiar la viabilidad técnica y económica asociada a la reutilización del agua procedente de la purga continua de caldera para su posterior uso en el Circuito de Refrigeración. Con ello se quiere conseguir un ahorro en los principales recursos de las instalaciones, agua y energía, y reducir así el impacto medio ambiental que la Planta de Valorización Energética pueda producir en el medio.

El proyecto comienza con un estudio sobre la repercusión medio ambiental y energética que supone la nueva instalación con el que justificar la necesidad del cambio. Además, el proyecto se complementa con el diseño de la nueva línea, que incluye los planos de esta, así como la estimación de costes asociados con el fin de conocer su viabilidad a escala real.



## **CICLO DEL AGUA**

---

## 2.1. DESCRIPCIÓN CICLO DEL AGUA

### 2.1.1. CICLO AGUA - VAPOR

#### 2.1.1.1. Origen y tratamiento de las aguas

El Ciclo Agua – Vapor corresponde al circuito principal de la instalación. El suministro de agua para este, proviene de dos pozos subterráneos situados en las inmediaciones de la empresa; y se trata en una planta que genera agua desmineralizada para obtener un agua libre totalmente de impurezas, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos.

La instalación cuenta con dos plantas idénticas que trabajan de manera alterna, denominadas *Planta Norte* y *Planta Sur* debido a su orientación geográfica. En la Figura 2 se muestra un esquema resumido sobre la línea de tratamiento que sigue el agua.

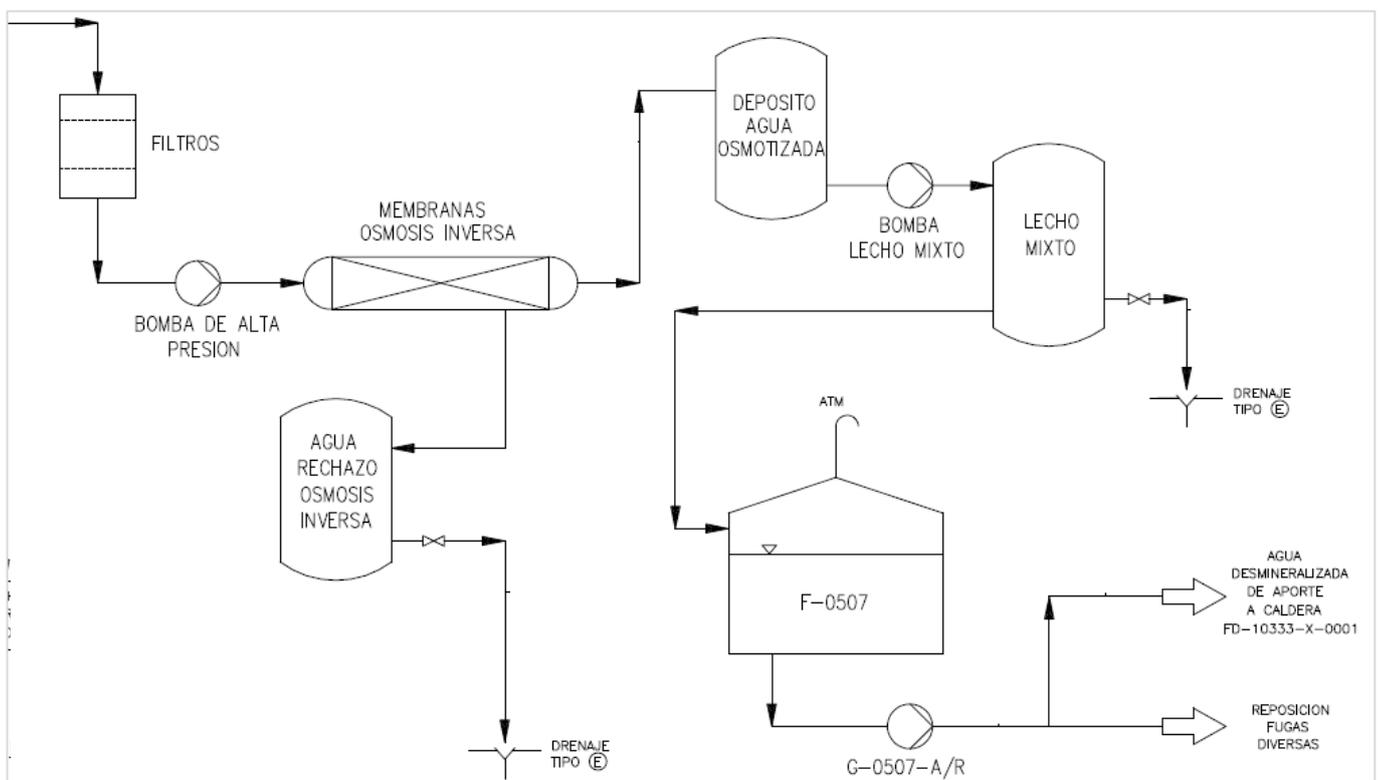


Figura 2. Esquema de tratamiento del agua destinada al Ciclo Agua - Vapor

En primer lugar, el agua se bombea a través de un sistema de filtro dual (sílex – antracita), en el que se retienen partículas y sólidos en suspensión que pueda contener el agua, evitando posibles atascamientos en equipos posteriores.

Una vez filtrada el agua, se dosifica un aditivo químico “NALCO 7408” (bisulfito sódico) cuyo objetivo es eliminar el cloro residual y mantener un valor reductor del agua para la protección y durabilidad de las membranas, producir un efecto bacteriostático (reduce el oxígeno preciso para la presencia de bacterias aerobias) y ajustar el pH para reducir el índice Langelier. A continuación, se dosifica un producto antiincrustante-dispersante “PERMETREAT

PC191T” para evitar que las sales de calcio y magnesio, sulfatos o sílice, produzcan incrustaciones en las membranas y con ello, pérdidas de caudal de agua tratada.

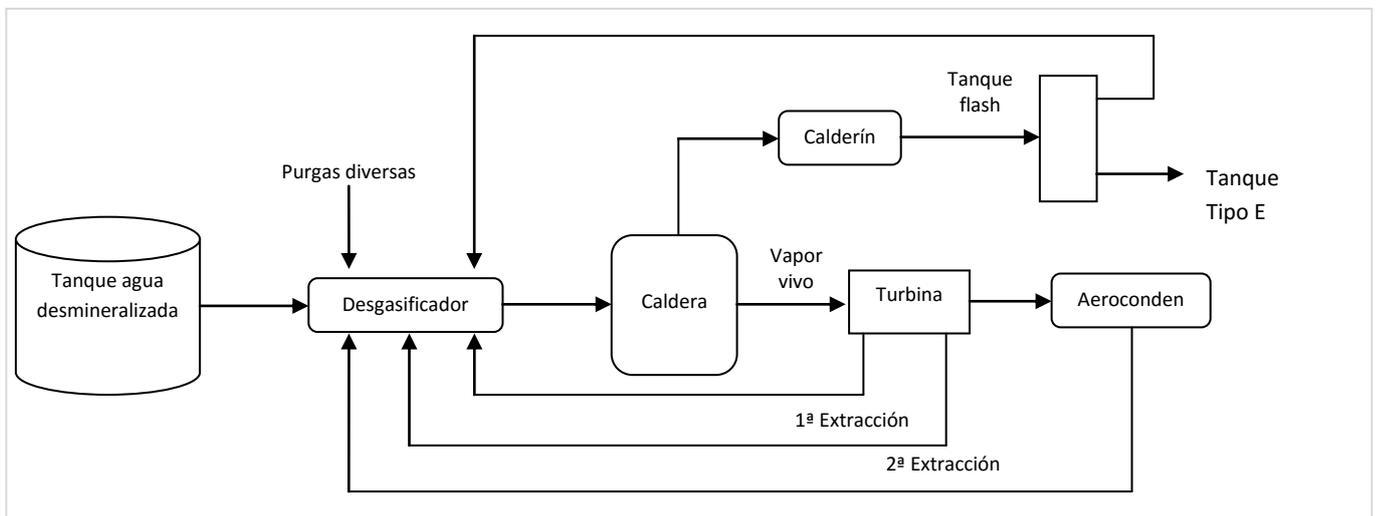
El agua pretratada pasa a través de un sistema de microfiltración que cuenta con cartuchos de 5 micras de tamaño de poro, donde se retienen posibles escapes de partículas o sólidos en suspensión. Después, el agua se bombea a alta presión hasta los módulos de ósmosis inversa donde se producen dos efluentes: agua tratada (exenta de sales en un 97%), y agua de rechazo, cuyo destino es el tanque de drenaje *Tipo E*, denominado así por dar servicio al circuito *Tipo E* (Ver Plano “*Diagrama de flujo. Balance general de agua*”).

El agua tratada (osmotizada) se acumula en un depósito de polietileno desde donde se bombea a un equipo de resinas de lecho mixto, denominado así debido a que las resinas aniónicas y catiónicas se encuentran juntas en el mismo equipo. En su interior, se afina la calidad del agua osmotizada hasta obtener una calidad de agua desmineralizada con una conductividad inferior a 2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esta conductividad debe ser tan baja para cumplir con las exigencias de los fabricantes de turbina y caldera, ya que se requiere un agua ultrapura para evitar la corrosión e incrustación de sólidos incondensables en ambos equipos (1).

Ver Plano “*Diagrama de flujo. Balance general de agua*” adjunto en Anexo I.

#### 2.1.1.2. Destino de las aguas

En la Figura 3 se muestra un diagrama del recorrido seguido por el agua durante el Ciclo Agua – Vapor. Además, en Anexo I se adjunta el plano “*Diagrama de flujo. Balance de vapor y condensado*”.



**Figura 3.** Esquema Ciclo Agua – Vapor

El agua procedente del tanque de agua desmineralizada se conduce mediante un sistema de tuberías hasta el **desgasificador**, el cual es un gran regulador de los caudales de agua del circuito ya que recoge las distintas purgas del proceso que pueden ser reaprovechadas e introducidas de nuevo en la caldera. Además de las purgas, se introduce

también un nuevo aporte de agua desmineralizada para compensar las pérdidas ocasionadas tanto por evaporación como por la purga continua de caldera.

El objetivo del desgasificador es retirar el posible  $O_2$  y  $CO_2$  disuelto en el agua que haya podido entrar al circuito desde el ambiente exterior. Para completar el tratamiento del agua en el equipo, se inyecta un aditivo químico, secuestrante de oxígeno (carbohidrazida), para obtener una calidad de agua de alimentación ajustada a los requerimientos, por ejemplo con baja corrosividad.

El agua tratada en el desgasificador se envía a presión, mediante bombas, hacia la **caldera de recuperación**. El agua circula a través de la pared acuatubular de la caldera y a continuación, por un sistema de paquetes de economizadores, evaporadores y sobrecalentadores cuyo objetivo final es incrementar la temperatura del agua hasta obtener vapor vivo.

La caldera cuenta con una purga continua que se extrae del calderín y se recoge en un tanque (denominado a partir de ahora *Tanque Flash*) para realizar una destilación tipo flash a presión, en donde se recupera el vapor generado y se introduce de nuevo en el desgasificador, mientras que el condensado de fondo del depósito se envía al tanque de drenaje *Tipo E*.

El vapor vivo se envía a la **turbina**, en donde se realiza una 1ª extracción que se emplea para calentar el aire de fluidificación del circuito de cenizas y una vez disminuida su temperatura, sirve como línea de alimentación al desgasificador. Esta línea de alimentación tiene un doble fin: calentar por contacto directo el agua, y como fluido de arrastre de los incondensables disueltos ( $O_2$  y  $CO_2$ ), ya que la solubilidad de los gases disueltos en agua disminuye al aumentar la temperatura. La 2ª extracción de la turbina alimenta a un precalentador de condensado y de la misma manera que la 1ª extracción, esta también sirve de alimentación para el ciclo.

Por último, el vapor circula hasta los **aerocondensadores** con el fin de recuperar el máximo volumen de condensado posible y que, junto con las diferentes purgas recogidas en los distintos tanques de condensados, se envían como aporte al desgasificador, ya que la instalación cuenta con vertido 0 (1).

## 2.1.2. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

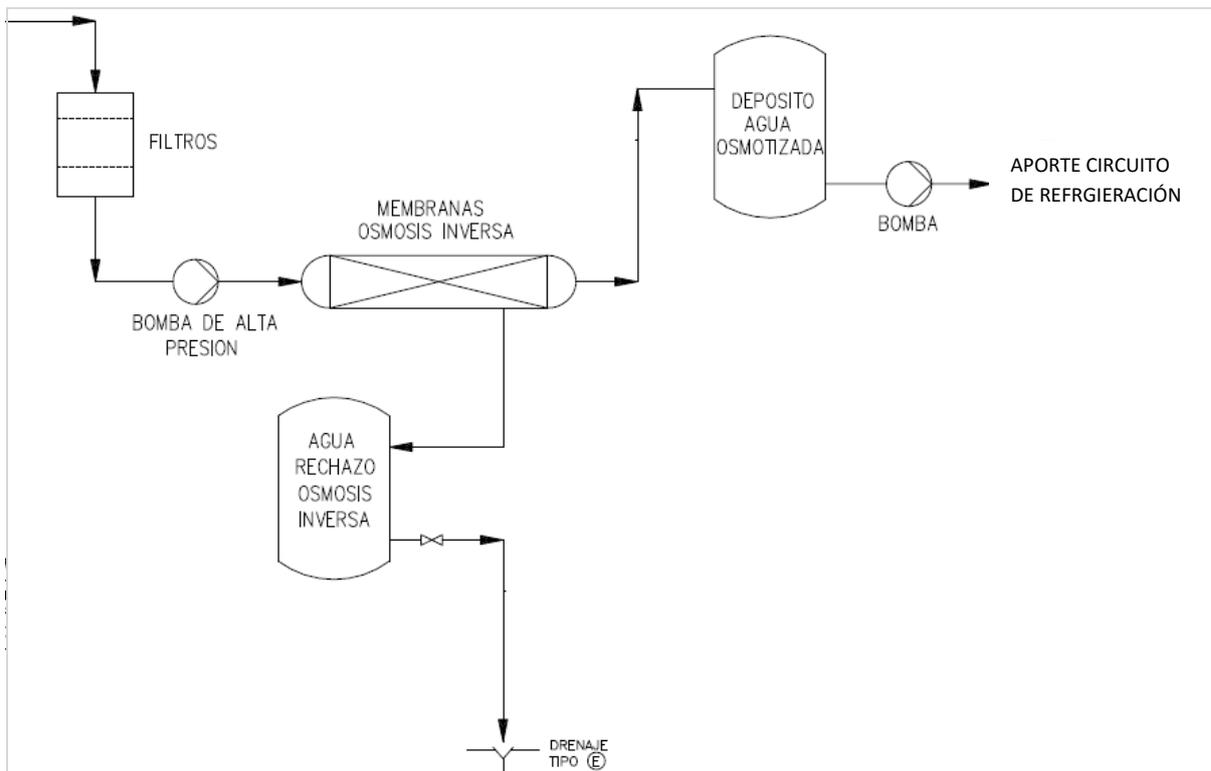
### 2.1.2.1. Origen y tratamiento de las aguas

El Circuito de Refrigeración es independiente del Ciclo Agua – Vapor, y se alimenta a través de agua bruta (agua sin ningún tipo de tratamiento) y agua osmotizada. A nivel técnico el agua producida en las *Plantas Norte y Sur*, y el agua producida en la planta de osmosis inversa son aguas osmotizadas, para diferenciarlas se denomina agua desmineralizada a la agua producida para el Ciclo Agua – Vapor y agua osmotizada a la agua producida para el Circuito de Refrigeración.

El agua para el circuito proviene también de los pozos subterráneos cercanos a las instalaciones y parte se envía a tratar a la planta de osmosis inversa, con el objetivo de obtener un agua tratada con una conductividad que no supere 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La conductividad del agua osmotizada se fija en un valor de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para cumplir con las especificaciones técnicas de las torres de refrigeración, que indican una conductividad inferior a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y evitar problemas de corrosión e incrustación. De esta manera se aporta al Circuito de Refrigeración: 86% de agua osmotizada y 14% agua bruta.

En la Figura 4 se muestra un breve esquema sobre el tratamiento que sigue el agua destinada al Circuito de Refrigeración. Además, en el Anexo I se adjunta el Plano “Diagrama de flujo. Balance general de agua”



*Figura 4. Esquema de tratamiento del agua destinada al Circuito de Refrigeración*

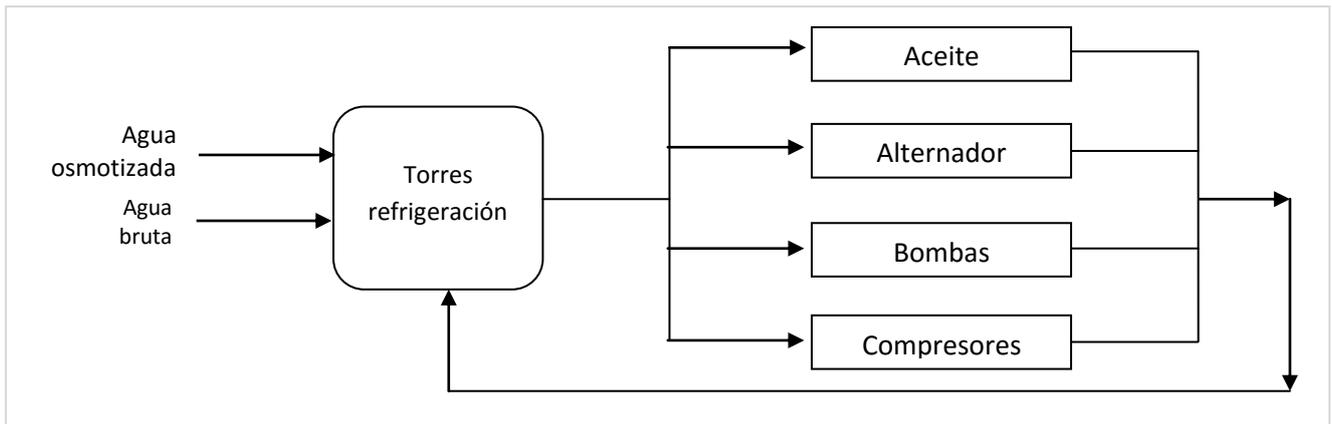
El funcionamiento de esta planta es similar a las plantas que generan agua desmineralizada. En primer lugar, el agua bruta pasa a través de un sistema filtro dual (sílex – antracita), para retener partículas y sólidos en suspensión presentes en el agua. Se dosifica un aditivo químico “NALCO 7408” (bisulfito sódico) con el objetivo de eliminar el cloro residual y mantener un valor reductor del agua; y un producto antiincrustante – dispersante “PERMETREAT PC191T”.

El agua pretratada circula a través de un sistema de microfiltración con cartuchos de 5 micras de tamaño de poro, con el mismo fin que en las *Plantas Norte y Sur*. Por último, el agua se bombea a alta presión hasta los módulos de ósmosis inversa obteniendo de igual manera dos efluentes: agua tratada (exenta de sales), que se acumula en un depósito de polietileno; y agua de rechazo, cuyo destino es el tanque de drenaje *Tipo E* (1).

### 2.1.2.2. Destino de las aguas

El Circuito de Refrigeración da servicio a equipos auxiliares de la Planta de Valorización Energética, con el fin de que tengan un funcionamiento efectivo. La función de este circuito es enfriar, por medio de dos torres de refrigeración, el agua a valores comprendidos entre 20 – 30°C, y con ello refrigerar el circuito de aceite del turbogruppo, alternador, bombas de alimentación de caldera y compresores de aire.

En la Figura 5 se muestra un diagrama del recorrido seguido por el agua. Además, en Anexo I se adjunta el plano “*Diagrama de flujo. Balance general de agua*”.



*Figura 5. Esquema Circuito de Refrigeración*

El Circuito de Refrigeración se define como un circuito semi – cerrado, tal y como se detalla en los párrafos siguientes, y consta de dos torres de refrigeración de tiro inducido, por lo que durante el proceso de enfriamiento del agua se produce a la vez un proceso de evaporación de una parte de la misma, teniendo así la necesidad de un aporte de agua nueva. El aporte de este agua se realiza directamente a las torres de refrigeración, las cuales están reguladas para que cuando se detecte nivel bajo en ellas, un accionamiento mecánico permita la entrada de agua hasta llegar al nivel alto. A través de dos bombas centrífugas, el agua circula por todo el circuito y regresa a las torres para su continuo aprovechamiento.

Además de las pérdidas de agua que puedan existir por evaporación, se realiza un sangrado adicional denominado purga, con el objetivo de evitar el aumento de concentración de sólidos disueltos no volátiles que a su vez producen un aumento de la conductividad. La purga del Circuito de Refrigeración se conduce hasta el tanque de drenaje *Tipo E*. Por tanto, el agua de aporte al circuito debe compensar las pérdidas por evaporación y arrastre y las pérdidas de purga; razón por la cual se define el sistema como semi – cerrado, ya que aunque exista una recirculación del fluido, es necesario un aporte de agua nueva (1).

- Las purgas que no pueden ser reutilizadas en el Ciclo Agua – Vapor, como el rechazo de ósmosis inversa o la purga de caldera, se envían al circuito *Tipo E*, el cual se emplea en el escoriador para enfriar las escorias y en el reactor *CIRCOLEAN* para el atemperamiento de los gases y no dañar los filtros de mangas.

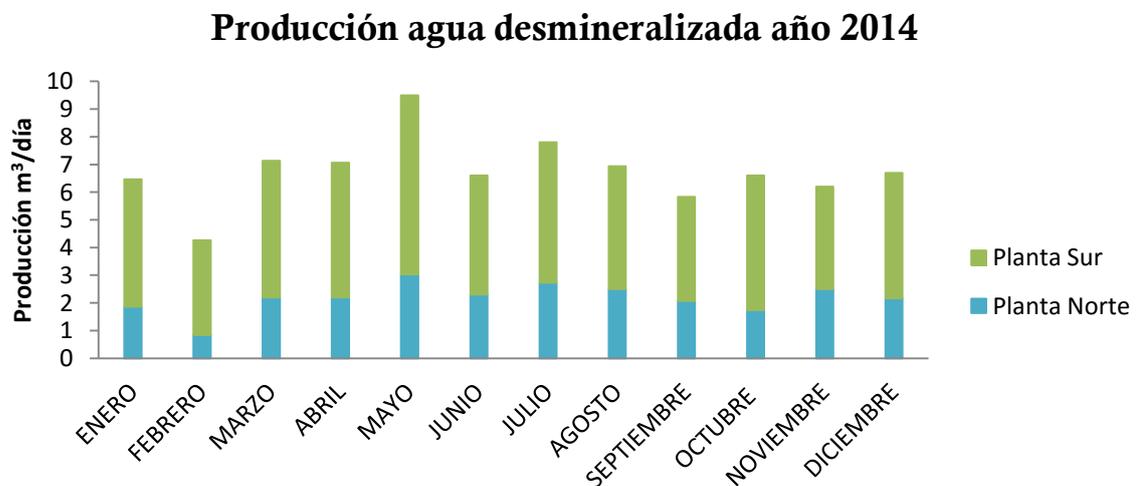
- La instalación cuenta además con un sistema de lavado de gases, pero dado que este se realiza mediante un sistema seco, no existe efluente alguno sobre el que realizar descripción.

## 2.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

### 2.2.1. CICLO AGUA - VAPOR

El agua desmineralizada necesaria para el funcionamiento del Ciclo Agua – Vapor proviene, como se ha dicho en el punto 2.1.1.1, de las plantas que generan agua desmineralizada *Norte* y *Sur*. Estas trabajan de manera alterna, de forma que la *Planta Norte* trabaja 8 horas diarias y la *Planta Sur* trabaja el resto, 16 horas.

La *Planta Norte* tiene una producción diaria en torno a 2 – 3 m<sup>3</sup>, mientras que la *Planta Sur* entre 4 – 5 m<sup>3</sup>, debido a que trabaja el doble de horas que la otra. En la Figura 6 se muestra un gráfico con la producción media diaria de agua desmineralizada para los meses del año 2014. En ella se puede observar que la producción en el mes de Febrero es más baja respecto el resto, esto se debe a que en este mes se realiza una parada en la empresa para el mantenimiento de las instalaciones. Además la producción varía, aunque de forma mínima, según la estación del año, necesitando mayor producción en los meses con temperaturas más elevadas (1).

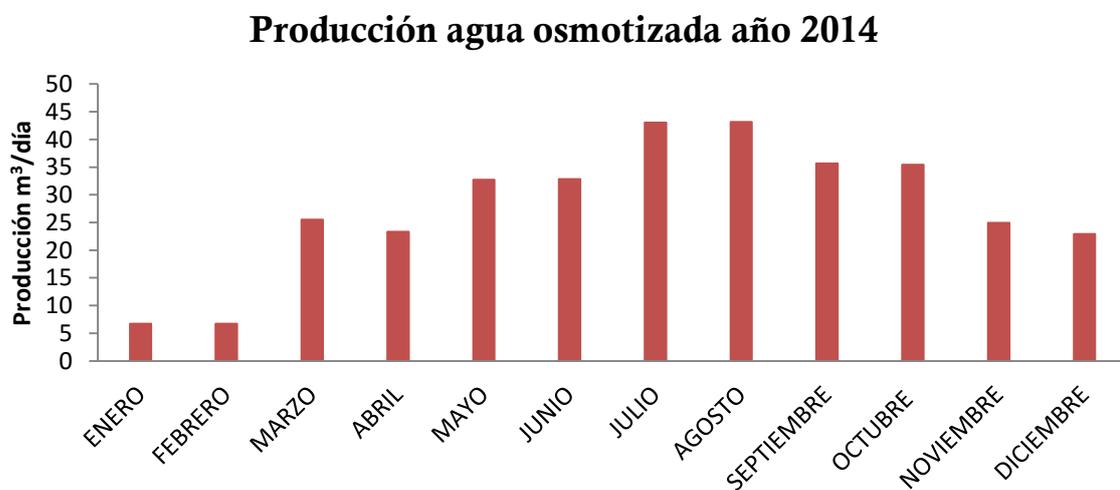


*Figura 6. Producción media de agua desmineralizada (m<sup>3</sup>/día) para Planta Norte y Planta Sur durante el año 2014*

### 2.2.2. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

La Planta de Agua Osmotizada da servicio principalmente al Circuito de Refrigeración, esta trabaja en función del nivel de llenado que tenga el tanque de almacenamiento de agua osmotizada, es decir, cuando el tanque marca “Nivel Alto” la producción se detiene hasta que la boya de nivel indique que es necesario arrancar la planta.

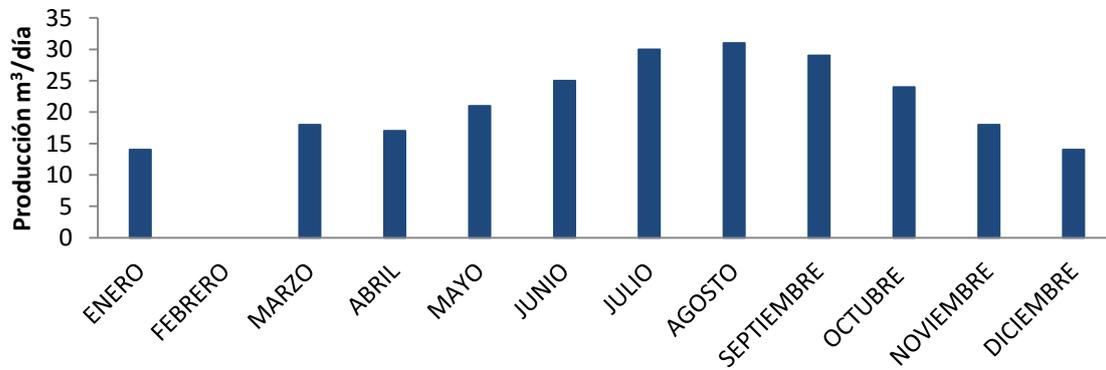
La producción media de agua osmotizada para el año 2014 es cercana a 28 m<sup>3</sup>/día. En la Figura 7 se muestra la producción en función del mes, donde se puede observar que a medida que avanzan los meses y aumentan las temperaturas, la producción de agua osmotizada aumenta. Esto está ligado al consumo de agua en el Circuito de Refrigeración, ya que se evapora mayor cantidad de agua en los meses con temperaturas más elevadas y se necesita un mayor aporte de agua osmotizada.



*Figura 7. Producción media de agua osmotizada (m<sup>3</sup>/día) durante el año 2014*

El Circuito de Refrigeración es el mayor consumidor de agua osmotizada, requiriendo una media de 22 m<sup>3</sup>/día, según los datos de 2014. De igual manera que en la Figura 7, en la Figura 8 se observa como a medida que los meses avanzan el consumo de agua también, con los picos más altos para los meses de Julio, Agosto y Septiembre (1).

### Consumo agua osmotizada en Circuito Refrigeración 2014



*Figura 8. Consumo medio de agua osmotizada (m<sup>3</sup>/día) en el Circuito de Refrigeración durante el año 2014*

En el Anexo II se adjunta una tabla con las calidades de agua bruta y agua desmineralizada.



**PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA LA  
REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE PURGA DE  
CALDERA**

---

### 3.1. DEFINICIÓN ALTERNATIVA PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN

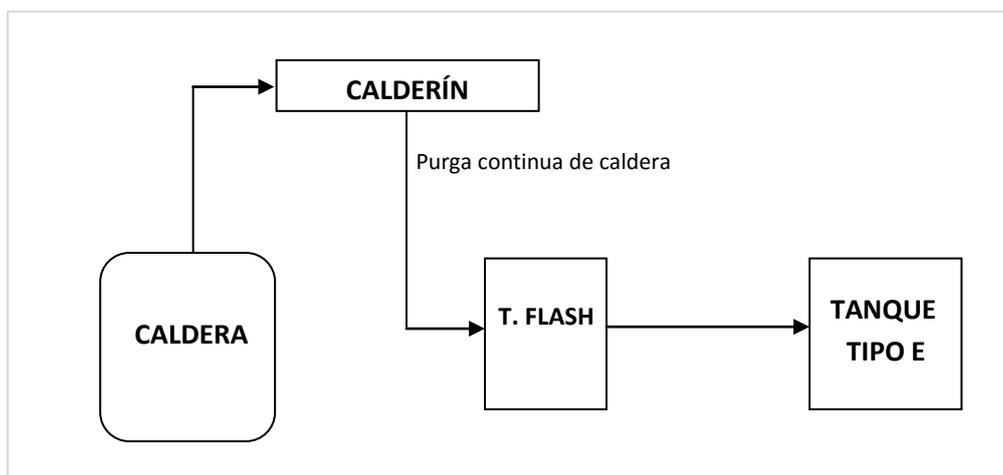
El agua procedente de la purga continua de caldera circula hasta un *Tanque Flash* a presión a una temperatura que oscila entre 105 – 115°C. Como se ha dicho en el punto 2.1.1.2. el vapor generado se recupera y se introduce de nuevo en el desgasificador, mientras que el condensado de fondo del depósito se envía al tanque *Tipo E*, el cual es reutilizado en el escoriador y en el reactor CIRCOCLEAN para el atemperamiento de los gases y no dañar los filtros de mangas.

Estudios previos proponen la recuperación de calor del agua de purgas mediante la instalación de un *Tanque Flash* y un intercambiador de calor. El proceso consiste en la descarga de la purga en un *Tanque Flash* donde el vapor recuperado se introduce de nuevo en el desgasificador y el condensado del fondo del depósito, cuyo destino es el sistema de alcantarillado, se emplea para calentar el agua de alimentación mediante un intercambiador de calor (3) (4).

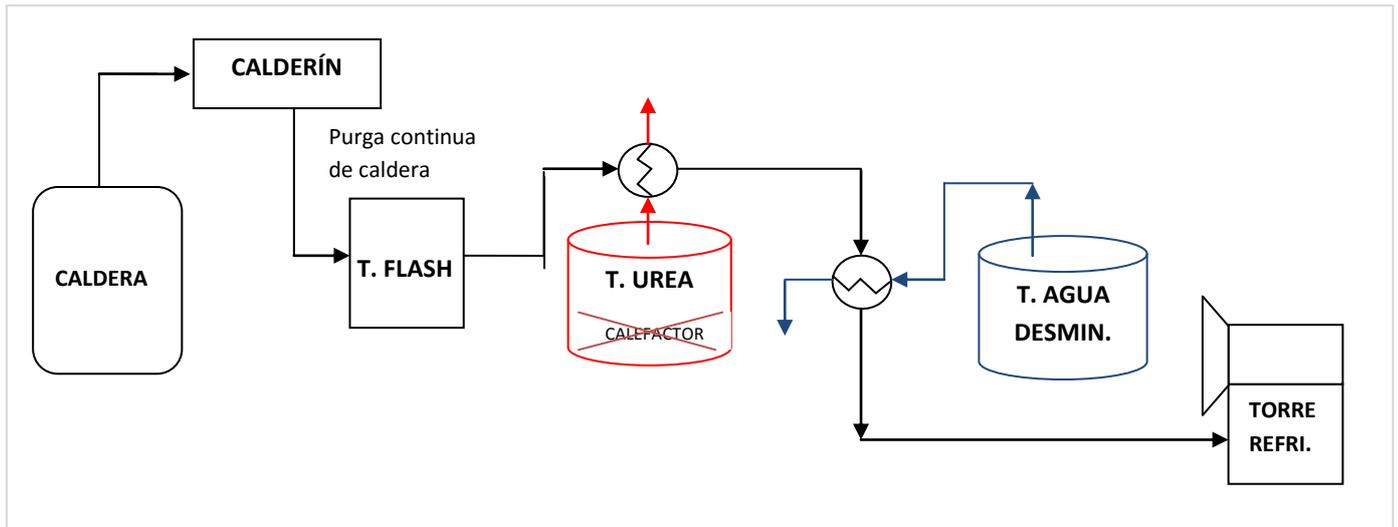
La alternativa propuesta consiste en dar un segundo aprovechamiento al condensado mediante su aporte en el Circuito de Refrigeración. Para ello es necesario bajar su temperatura hasta 20°C, mediante intercambiadores de calor.

El primer intercambiador se sitúa en el tanque de urea con el objetivo de reemplazar un calefactor situado en el interior de este, que trabaja para mantener la urea a una temperatura superior a la de cristalización (20°C). El segundo intercambiador se sitúa en el tanque de agua desmineralizada, con este se consigue calentar el agua de alimentación al Ciclo Agua – Vapor y terminar de bajar la temperatura del agua de purga.

En la Figura 9 se muestra un esquema del circuito actual que sigue la purga de caldera y en la Figura 10 se muestra el circuito propuesto.



*Figura 9. Esquema actual para el circuito de agua de purga de caldera desde el calderín hasta el tanque Tipo E.*



*Figura 10. Esquema propuesto para el aprovechamiento de la purga continua de caldera como aporte al Circuito de Refrigeración*

## 3.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES PREVISTOS

### 3.2.1. VENTAJAS PREVISTAS

- **Disminución del consumo de agua:** La introducción de una nueva línea de entrada en el Circuito de Refrigeración supone un menor aporte de agua osmotizada al sistema. Se consigue una menor producción de agua osmotizada y con ello de agua bruta.
- **Ahorro energético:** La sustitución del calefactor situado en el tanque de urea por un intercambiador de calor conlleva un ahorro energético. Además, la disminución de la producción de agua osmotizada provoca también un menor consumo de energía eléctrica.
- **Disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>:** El CO<sub>2</sub> es un contaminante ligado a los kWh usados en los equipos que precisan de corriente eléctrica, por lo que, eliminando el calefactor y dando un menor uso a la planta de producción de agua osmotizada, se reduce su emisión.

### 3.2.2. INCONVENIENTES PREVISTOS

El único inconveniente es el calentamiento que se puede producir en las bombas de impulsión situadas en el tanque de urea, que dependen de la temperatura que alcance esta. En caso de apreciar un calentamiento, se desvía el agua de purga mediante una válvula al tanque *Tipo E* hasta que las bombas adquieran su temperatura adecuada de funcionamiento.

### **3.3. ESTUDIO DE REPERCUSIÓN AMBIENTAL Y ENERGÉTICA**

#### **3.3.1. DISMINUCIÓN CONSUMO DE AGUA**

El ahorro de agua en las instalaciones proviene directamente de la sustitución del agua de purga de caldera por parte del caudal de agua osmotizada que se introduce en el Circuito de Refrigeración.

El ahorro de agua osmotizada se estima mediante el cálculo del caudal medio de agua de purga de caldera. Para lo cual se escogen días aleatorios del mes de Julio de 2015, obteniendo un caudal medio de 0,25 m<sup>3</sup>/h. Se observa que varios días el caudal alcanza valores próximos a **0,3 m<sup>3</sup>/h**, por lo que se decide dimensionar el sistema según este valor.

El consumo medio anual de agua osmotizada en las torres de refrigeración para el año 2014 está en 7.280 m<sup>3</sup> y tras la incorporación de la nueva línea de aporte al circuito se consigue un ahorro anual de **2.400 m<sup>3</sup> de agua osmotizada**. No existe la posibilidad de sustituir el agua bruta del sistema ya que, el agua osmotizada tiene muy baja concentración en sales y podría producir daños en equipos y líneas de servicios debido a sus características tan agresivas.

Además, con la disminución de la producción de agua osmotizada, se consigue un ahorro anual de **3.690 m<sup>3</sup> de agua bruta** (Anexo III). La empresa tiene una Concesión de la Confederación Hidrográfica para la captación de agua de los pozos subterráneos, la cual consiste en pagar al año por un volumen de agua establecido. Si dicho valor se sobrepasa se debe pagar por cada m<sup>3</sup> de agua captado, pero en este caso nunca se supera ese valor, por lo que no hay ahorro económico, sino una mejora en la preservación de los pozos con los que se abastece la empresa.

#### **3.3.2. DISMINUCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO**

##### **3.3.2.1. Calefactor**

El tanque de urea dispone de un calefactor que trabaja para elevar la temperatura de esta por encima de 20°C, evitando así su cristalización principalmente en temporadas invernales. Como el tanque está calorifugado y sus pérdidas son mínimas, la temperatura de la urea se mantiene la mayor parte del tiempo por encima del *set point* (22°C), por lo que, el calefactor realiza un mayor trabajo cuando se rellena el tanque de urea, procedente de un tráiler con una temperatura de 16°C.

Para calcular el ahorro energético, se desarrolla el balance de calor [1] referido al intercambio de calor entre el equipo y la urea, donde se emplea la masa procedente de un tráiler de urea, su capacidad calorífica y la diferencia de temperaturas (5):

$$Q \text{ perdido por el calefactor} = Q \text{ ganado por el fluido} = m_c * C_{p_c} * \Delta T \quad [1]$$

Donde:

- $Q$  = calor (KWh)
- $m_c$  = masa fluido (Kg)
- $Cp_c$  = capacidad calorífica (kJ/Kg\*K)
- $\Delta T$  = incremento de temperatura (K)

Los suministros de urea se reciben en la planta con una frecuencia de 10 días, lo cual supone un total de 32 pedidos anuales, pero se redondea hasta 35 ya que en alguna ocasión puede bajar la frecuencia. Esto corresponde a un ahorro energético anual de **4900 KWh** (Anexo III).

#### 3.3.2.2. Planta de agua osmotizada

Mediante la disminución de la producción de agua osmotizada, se consigue que la planta trabaje también un menor número de horas, con las que se consigue una disminución de energía eléctrica.

Durante el año 2014, la planta ha trabajado un total de 2.926 horas con una producción de agua osmotizada de 9.990 m<sup>3</sup>. Mediante el ahorro de agua osmotizada calculado en el apartado 3.3.1., se estima el número de horas anuales que podría trabajar la planta tras la incorporación de la nueva línea, obteniendo un ahorro anual de **5.620 KWh** (Anexo III).

En total, el consumo de energía eléctrica disminuye en **10.520 KWh**, lo cual según el precio actual de la energía en España 0,092€/KWh (6) supone un ahorro de **970€**.

#### 3.3.3. **DISMINUCIÓN EMISIONES CO<sub>2</sub> ASOCIADAS**

Mediante el factor de emisión para el CO<sub>2</sub> (0,521 Kg CO<sub>2</sub>/KWh) proporcionado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (7), es posible calcular los Kg totales emitidos vinculados a los KWh consumidos en las instalaciones.

Con el ahorro anual de **10.520 KWh**, procedente de la sustitución del calefactor y de la disminución de producción de agua osmotizada, se evita la emisión a la atmósfera de **5 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales** (Anexo III).

### 3.4. DISEÑO NUEVA LÍNEA

#### 3.4.1. DISEÑO INTERCAMBIADORES DE CALOR

##### 3.4.1.1. Intercambiador agua de purga – urea

El primer intercambiador situado en el tanque de urea, sustituye al calefactor y mantiene la urea por encima de 20°C. En la Tabla 1 se muestran las características de ambos fluidos empleadas para el diseño del equipo.

Tabla 1. Especificaciones agua de purga y urea

DATOS	F.CALIENTE - PURGA	F.FRIO – UREA
Masa (Kg/h)	289,5	676,8
Volumen (m <sup>3</sup> /h)	0,3	0,6
Capac. Calorífica (KJ/KgK)	4,2	3,4
Temperatura entrada (°C)	115	6
Temperatura salida (°C)	77	20

Continuando con el balance de calor planteado en el punto 3.3.2.1, se desarrolla esta expresión para un intercambiador que trabaja en contracorriente.

$$Q \text{ perdido por el agua de purga} = Q \text{ ganado por el Carbamín} \quad [2]$$

$$Q = -m_{l1} * Cp_{l1} * (T_{lsal1} - T_{lent1}) = m_{l2} * Cp_{l2} * (T_{lsal2} - T_{lent2})$$

$$Q = U * A * \Delta T_{ml} \quad [3]$$

Donde:

- Q = calor (KWh)
- m = masa fluido (Kg)
- Cp = capacidad calorífica (kJ/Kg\*K)
- LMTD = diferencia de temperatura media logarítmica (K)
- U = coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup>K)
- A = área superficie de intercambio de calor (m<sup>2</sup>)

La diferencia de media logarítmica se obtiene mediante la ecuación [4] (5):

$$LMTD = \frac{(T_{gsal} - T_{lent}) - (T_{gent} - T_{lsal})}{\ln \frac{(T_{gsal} - T_{lent})}{(T_{gent} - T_{lsal})}} \quad [4]$$

A partir del desarrollo de las expresiones [2] y [3] es posible diseñar los intercambiadores de calor. Su configuración y modo de funcionamiento se obtienen gracias a la empresa ALFALAVAL, encargada de suministrar ambos equipos (8).

Para el primer intercambiador, recomiendan un intercambiador modelo T2B-FG que trabaja en contracorriente, consta de 5 placas y tiene una superficie de intercambio de calor de 0,20 m<sup>2</sup>.

Con esta información y con el desarrollo de la expresión [3] en función del coeficiente de transmisión de calor (U), se termina de diseñar el intercambiador de calor. La Tabla 2 muestra un resumen de los datos de diseño (Anexo III).

*Tabla 2. Datos diseño de intercambiador de calor purga - urea*

DATOS	INTERCAMBIADOR
Configuración	Placas
Tipo de contacto	Contracorriente
Fluido caliente	Agua purga caldera
Fluido frio	Carbamín (urea)
Calor intercambiador (KW)	13
LMTD (K)	83
Coefficiente transferencia de calor U (W/m <sup>2</sup> K)	753
Superficie intercambio A (m <sup>2</sup> )	0,20

#### 3.4.1.2. Intercambiador agua de purga – agua desmineralizada

El diseño del intercambiador situado en el tanque de agua desmineralizada, se realiza de igual manera que el primero. Para su diseño, se supone que realiza todo el trabajo, es decir, que rebaja la temperatura de la purga desde 115°C hasta 20°C. Las características de los fluidos se recogen en la Tabla 3.

*Tabla 3. Especificaciones agua de purga y agua desmineralizada*

DATOS	F.CALIENTE- PURGA	F.FRIO – A.DESMINER.
Masa (Kg/h)	289,5	997,4
Volumen (m <sup>3</sup> /h)	0,3	1
Capac. Calorífica (KJ/KgK)	4,2	4,2
Temperatura entrada (°C)	115	15
Temperatura salida (°C)	20	39,4

En este caso, ALFALAVAL, recomienda un intercambiador modelo T2B-FG que trabaja en contracorriente, con 22 placas y una superficie de intercambio de calor de 0,90 m<sup>2</sup>.

En la Tabla 4 se muestra un resumen de los datos de diseño (Anexo III); además, en el Anexo III se añaden las especificaciones técnicas de ambos intercambiadores.

*Tabla 4. Datos diseño de intercambiador de calor purga – agua desmin.*

DATOS	INTERCAMBIADOR
Configuración	Placas
Tipo de contacto	Contracorriente
Fluido caliente	Agua purga caldera
Fluido frio	Agua desmineralizada
Calor intercambiador (KW)	32
LMTD (K)	26
Coefficiente transferencia de calor U (W/m <sup>2</sup> K)	1387
Superficie intercambio A (m <sup>2</sup> )	0,90

### 3.4.2. DISEÑO TUBERÍA

#### 3.4.2.1. Cálculo diámetro tubería

El valor de la velocidad en una conducción es igual a la velocidad volumétrica de flujo dividida por el área de la sección transversal de la conducción (9). El cálculo del diámetro de tubería se realiza mediante el desarrollo de la expresión [5] en función del diámetro:

$$V = \frac{q}{S} \quad [5]$$

Donde:

- V = velocidad media del líquido (m/seg)
- q = caudal (m<sup>3</sup>/seg)
- S = sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

Suponiendo una velocidad de 1 m/seg, se obtiene un diámetro de tubería correspondiente a 1/2" (15 mm), pero se considera muy pequeña para este tipo de servicio, por lo que se decide que el tamaño comercial de la tubería será de **3/4" (20 mm)** (Anexo III).

#### 3.4.2.2. Cálculo velocidad real en tubería

Una vez escogido el diámetro comercial de la tubería, este se introduce en la expresión [5] desarrollada en función de la velocidad, obteniendo así el valor real de la velocidad del fluido en la tubería. En este caso, la velocidad es **0,30 m/seg** (Anexo III).

#### 3.4.2.3. Comprobación tipo de flujo

Para estudiar las condiciones para las cuales se produce el cambio entre un tipo de régimen u otro en un fluido, Reynolds encontró que la velocidad crítica, para la cual el flujo pasa de laminar a turbulento, depende de cuatro variables: diámetro de tubería, viscosidad, densidad y velocidad media lineal del fluido. Esta agrupación de variables da lugar a un número adimensional denominado Número de Reynolds (10):

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad [6]$$

Donde:

- ρ = densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)
- μ = viscosidad del líquido (Kg/m\*seg)
- D = diámetro de la tubería (m)
- V = velocidad media del líquido (m/seg)

Para números de Reynolds inferiores a 2100 se encuentra flujo laminar. El flujo turbulento se da para números superiores a 4000. Entre 2100 y 4000 existe una región de transición, donde el régimen puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones de entrada del tubo y de la distancia a dicha entrada (10). Aplicando la expresión del número

de Reynolds con las características del agua de purga de caldera, se comprueba que el tipo de régimen que esta sigue es **turbulento** (Anexo III).

#### 3.4.2.4. Pérdida de carga total

##### **Pérdida de carga por rozamiento**

La pérdida de carga por rozamiento ha sido estudiada a lo largo de los años por numerosos autores, tales como Darcy-Weisbach, Moody o Nikuradse. La expresión propuesta por Darcy-Weisbach [7] es la más usada para el cálculo de pérdida de carga en tuberías (11):

$$J = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad [7]$$

Donde:

- J = pérdida de carga por rozamiento (m.c.a.)
- D = Diámetro de la sección del tubo (m)
- $\lambda$  = coeficiente de pérdida de carga
- V = velocidad (m/seg)
- L = longitud de tubería (m)
- G = constante de aceleración de gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

La dificultad de esta expresión radica en el cálculo del coeficiente de pérdida de carga  $\lambda$ , calculado a través del ábaco de Moody (Figura 11), y se representa en función del número de Reynolds, el diámetro de la tubería y el coeficiente de rugosidad en pared (11).

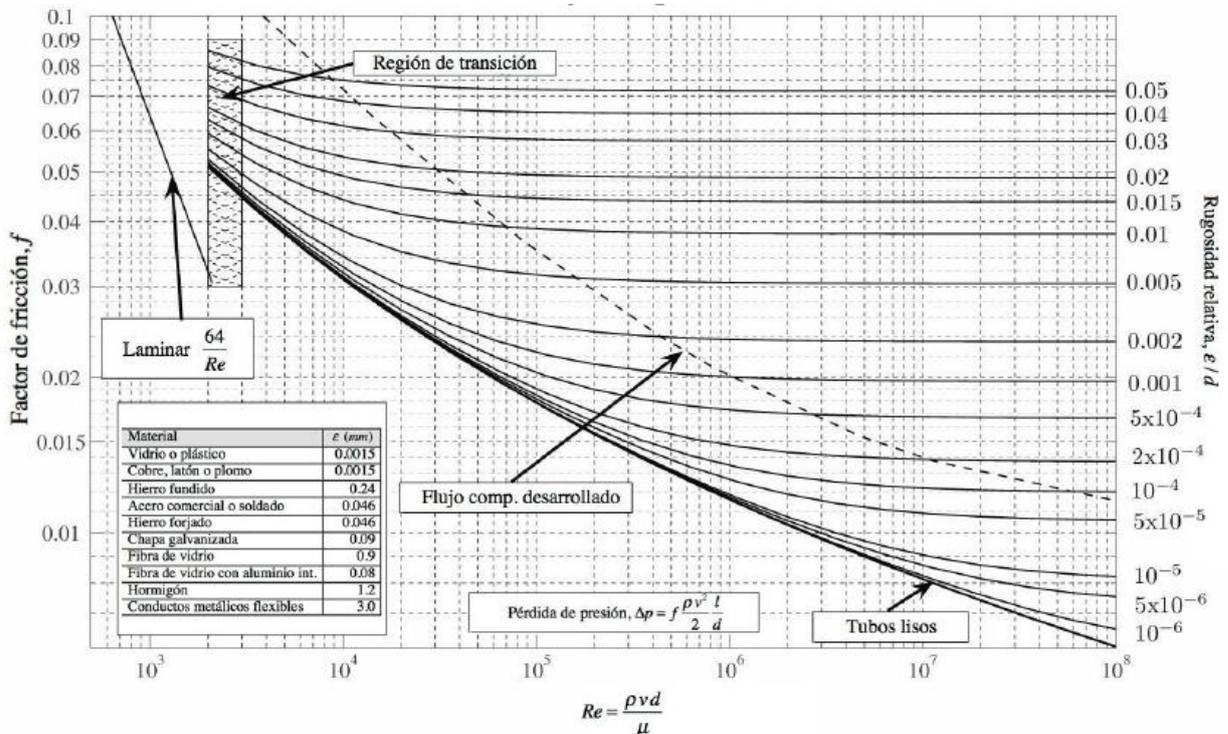


Figura 11. Diagrama de Moody para el cálculo del factor de fricción

Trabajando con la expresión [7] y el ábaco de Moody, se obtiene que para una tubería de acero, la pérdida de carga por rozamiento es **1,04 m.c.a.** (Anexo III).

### ***Pérdida de carga en válvulas y accesorios***

Las válvulas y accesorios distorsionan las líneas normales de flujo, dando lugar a fricción. En conducciones de corta longitud, con muchos accesorios, las pérdidas por fricción debidas a los mismos pueden ser mayores que las correspondientes a la longitud recta de tubería. Las pérdidas por fricción debidas a válvulas y accesorios se calculan a partir de la expresión [8] (12):

$$J = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad [8]$$

Donde:

- V = velocidad (m/seg)
- G = constante de aceleración de gravedad (m/seg<sup>2</sup>)
- K = factor de pérdida en función del tipo de accesorio (adimensional), Tabla 5

*Tabla 5. Factor de pérdidas en función del accesorio (12) (13).*

ACCESORIO	VARIACIONES DE K		K PROMEDIO
Válvulas de globo	6	9,5	7,75
Válvulas de seguridad	3		3
Medidor de flujo	10		10
Válvula de bola	10		10
Codo de 45°	0,4		0,4
Codo de 60°	0,7		0,7
Codo de 90°	0,9		0,9

Para la nueva línea, se estima que será necesario instalar 30 codos de 90°, 10 codos de 45°, 1 medidor de flujo y 5 válvulas de bola. Además, se cuenta con una válvula de globo instalada con anterioridad a la salida del *Tanque Flash*.

La pérdida de carga producida por válvulas y accesorios es inferior al producido por el rozamiento de la tubería, **0,35 m.c.a.**, debido a que la longitud de la tubería se considera larga, y aunque haya gran cantidad de accesorios, la pérdida de carga generada no supera a la producida por el rozamiento (Anexo III).

### ***Pérdida de carga por elevación***

El cálculo de pérdida de carga por elevación, se calcula mediante la diferencia de alturas que existe entre el comienzo de la línea y el final.

$$Cota\ final\ de\ línea - Cota\ inicial\ de\ línea = pérdida\ de\ carga\ por\ altura \quad [9]$$

El inicio de la línea tiene lugar en la tubería de salida del *Tanque Flash*, a una cota de 10,8 m; y el final de la línea corresponde a la entrada en las torres de refrigeración, situadas a una cota de 11,8 m. Por tanto, la pérdida de carga producida es de **1 m.c.a.** (Anexo III).

### ***Pérdida de carga por intercambiadores de calor***

Los intercambiadores de calor producen una pérdida de carga que se debe tener en cuenta durante la realización de los cálculos. Dicha pérdida, es proporcionada por ALFALAVAL junto con la información de configuración y modo de funcionamiento de ambos intercambiadores. En total se origina una pérdida de **0,24 bar** (Anexo III).

### ***Pérdida de carga total***

La pérdida de carga total corresponde a la suma de las pérdidas de carga producidas por el rozamiento, válvulas y accesorios, elevación e intercambiadores de calor. Además, se debe tener en cuenta el coeficiente de seguridad, 15%.

$$P. carga = Rozamiento + Válvulas y accesorios + Elevación + I. de calor \quad [10]$$

$$P. carga total = (0.15 * P. carga) + P. carga \quad [11]$$

La pérdida de carga total obtenida es de **0,55 bar**, con lo que es posible implantar el sistema sin mecanismos de bombeo para compensar la pérdida de carga. Es decir, el agua podrá circular a través de toda la línea y llegar hasta las torres de refrigeración empleado la presión del propio *Tanque Flash* (1,7 bar) (Anexo III).

## **3.5. ANÁLISIS AGUAS DE PURGA DE CALDERA**

Para llevar a cabo la reutilización de las aguas de purga de caldera, es necesario realizar análisis químicos para comprobar que los parámetros con los cuales se determina si la calidad del agua es admisible o no para el circuito, están dentro de los límites fijados.

La realización de los análisis de las aguas se le encarga a la empresa NALCO (14), los cuales toman dos muestras de aguas de las instalaciones:

- **1º Muestra:** agua osmotizada, agua bruta y agua de purga de caldera.
- **2º Muestra:** agua de purga de caldera y agua de las torres de refrigeración.

En vista de los resultados obtenidos (Anexo II), se **aprueba la viabilidad de la reutilización** de las aguas de purga de caldera como aprovechamiento en el Circuito de Refrigeración. Antes de realizar la instalación es necesario cambiar el programa de dosificación del producto antiincrustante “3DT320” debido a que el producto actual adiciona fosfatos al sistema y con la nueva incorporación no es necesario porque las aguas de purga ya contienen fosfatos en su composición.

### **3.6. PRESUPUESTO**

En el Anexo III se adjunta un presupuesto aproximado para la instalación de la nueva línea en el que se tienen en cuenta tanto los principales elementos del circuito como la mano de obra del personal (15) (16) (17).

El coste total es de **21.420 €**. La amortización de este proyecto depende únicamente del ahorro asociado al consumo de energía eléctrica, ya que el ahorro que pueden suponer los reactivos químicos que se dosifican durante el tratamiento de aguas tiene un impacto mínimo. De esta manera, se necesitan 22 años para amortizar la nueva línea, pero el objetivo principal no es amortizar el dinero sino disminuir el impacto medio ambiental generado, reduciendo la captación de agua de los pozos. Debido a la mala localización de la planta, el acceso al agua es difícil, siendo estos pozos subterráneos lo más cercano a las inmediaciones y convirtiéndolos en el principal recurso natural, por lo que es necesario su preservación.

### **3.7. PLANOS NUEVA LÍNEA**

En el Anexo III se adjuntan los planos de la vista **isométrica, alzado, planta y perfil** de la nueva línea; que conduce el agua de purga de caldera desde el *Tanque Flash* hasta la entrada de agua a las torres de refrigeración, pasando por los intercambiadores de calor situados en los tanques de urea y de agua desmineralizada.

## **CONCLUSIONES**

---

Las principales conclusiones alcanzadas tras la realización de este estudio son las que se presentan a continuación.

Se propone un cambio de línea consistente en el aprovechamiento de la purga continua de caldera como aporte al Circuito de Refrigeración. El nuevo circuito se diseña para conducir el agua desde el *Tanque Flash*, encargado de recoger la purga, hasta la entrada a las torres de refrigeración, pasando a través de dos intercambiadores de calor situados en el tanque de urea y en el tanque de agua desmineralizada con el fin de ceder su calor a estos fluidos y conseguir la temperatura adecuada para el Circuito de Refrigeración. Durante el diseño de la línea se debe tener en cuenta todos los sistemas que contribuyen a la pérdida de carga total, como válvulas y accesorios, material de construcción o elevación. La pérdida de carga total generada es compensada gracias a la presión que existe en el *Tanque Flash*, por lo que no es necesaria la instalación de mecanismos de bombeo.

Recordando lo citado en los estudios previos, estos proponen el uso del condensado, antes de su vertido, para calentar el agua de alimentación mediante intercambiadores de calor. En este diseño se siguen esas líneas de estudio y además se mejoran, consiguiendo el aprovechamiento total del condensado.

Desde el punto de vista medio ambiental y energético la línea es favorable, ya que a largo plazo se disminuye el consumo de los principales recursos de la instalación, consiguiendo de esta manera reducir el impacto ambiental que la Planta de Valorización Energética pueda causar en el medio. Para el posible inconveniente que se plantea con las bombas de impulsión de urea se propone una solución que no requiere instalación alternativa, ya que se usa la actual, por lo que no supone problema para continuar con el diseño de la línea.

La disminución de consumo más notable es en el agua osmotizada con un ahorro anual de 2.400 m<sup>3</sup>, con la que a su vez, se consigue disminuir la captación de agua bruta de los pozos subterráneos en 3.690 m<sup>3</sup>. El ahorro de energía eléctrica no es tan significativo como el de agua, pero con los 10.520 kWh se consigue reducir la emisión de 5 toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo eléctrico.

Por otro lado, los análisis realizados al agua muestran que esta cumple con las especificaciones fijadas por el fabricante de las torres de refrigeración, con lo que se aprueba la incorporación del agua en el Circuito de Refrigeración. Únicamente se requiere cambiar el aditivo químico antiincrustante "3DT320", sin gastos adicionales, ya que no se necesita instalar un nuevo programa de dosificación.

El presupuesto para poder llevar a cabo la nueva línea corresponde a un total de 21.420€. Para amortizar el proyecto son necesarios 22 años, pero esta no es prioritaria, en este caso prima el cuidado del principal recurso de la planta que son los pozos de agua subterránea. Con esto se concluye que la reutilización del agua de purga de caldera como aporte al Circuito de Refrigeración es viable desde el punto de vista técnico y económico, por lo que es posible y se decide llevar a cabo el diseño a escala real. Además, se cumple con la política de la empresa de Vertido 0 ya que se da un segundo uso a las aguas residuales de la instalación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- (1) TirCantabria [Proyecto básico] [Consulta: 1 agosto 2015].
- (2) ANSÓTEGUI, D. 2009. *Proyecto de Optimización del Sistema de Refrigeración de la Planta de Recuperación Energética de RS*. Proyecto fin de Máster, Universidad de Cantabria.
- (3) Vázquez, J.M. 2006. *Medidas de ahorro verticales en la industria cervecera*. Proyecto fin de carrera, Universidad de Sevilla.
- (4) Bahadori, A; Vuthaluru, H. 2010. A method for estimation of recoverable heat from blowdown systems during steam generation. *Energy*, **35**, 3501 – 3507.
- (5) LEVENSPIEL, O. 1993. Introducción a los intercambiadores de calor. *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Barcelona: Reverté, S.A., pp 237 – 245.
- (6) Precio neto de la electricidad para uso doméstico y uso industrial 2/11/2015. En: MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO [sitio web]. Madrid [Consulta: 10 diciembre 2015]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV\\_12.pdf](http://www.minetur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf)
- (7) Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso de energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España 03/03/2014. En: MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO [sitio web]. Madrid [Consulta: 10 noviembre 2015]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/propuestas/Documentos/2014\\_03\\_03\\_Factores\\_de\\_emision\\_CO2\\_y\\_Factores\\_de\\_paso\\_Efinal\\_Eprimaria\\_V.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/propuestas/Documentos/2014_03_03_Factores_de_emision_CO2_y_Factores_de_paso_Efinal_Eprimaria_V.pdf). Ruta: Energía/Desarrollo/Eficiencia energética
- (8) ALFALAVAL [sitio web] [Consulta: 27 agosto 2015]. Disponible en: <http://local.alfalaval.com/es-es/Pages/default.aspx>
- (9) McCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. 1998. Ecuaciones unitarias en el flujo de fluidos. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw-Hill., pp 63 – 82.
- (10) McCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. 1998. Fenómenos de flujo de fluidos. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw-Hill., pp 41 – 62
- (11) DEGRÉMONT, O. 1973. Hidráulica. *Manual técnico del agua*. Vizcaya: Urmo S.A, pp 1041 – 1086
- (12) McCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. 1998. Flujo de fluidos no compresibles en conducciones y capas delgadas. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw-Hill., pp 83 – 121.
- (13) MILIARIUM: INGENIERÍA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE [sitio web] [Consulta: 18 agosto 2015] Disponible en: <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>
- (14) NALCO [sitio web] [Consulta: 10 agosto 2015]. Disponible en: <http://sp-eu.nalco.com/eu/>

(15) MARESMINOX S.L. [sitio web] [Consulta: 9 noviembre 2015] Disponible en:  
[http://www.maresminox.com/nwProductos.asp?id\\_categoria=1020505](http://www.maresminox.com/nwProductos.asp?id_categoria=1020505)

(16) ALMESA [sitio web] [Consulta 9 noviembre 2015] Disponible en:  
<http://www.almesa.com/?s=abarcon>

(17) SALVADOR ESCODA S.A. [sitio web] [Consulta: 9 noviembre 2015] Disponible en:  
[http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Valvuleria\\_Agua\\_Tarifa\\_PVP\\_SalvadorEscoda.pdf](http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Valvuleria_Agua_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf)

