

Estudio para la viabilidad de una planta de incineración de residuos

MEMORIA

Autor: SERGIO MARTÍNEZ LIZARTE

Director: ASSENSI OLIVA LLENA

Convocatoria: JUNIO 2016



**Màster Interuniversitari UB-UPC
d'Enginyeria en Energia**

ÍNDICE

1 SUMARIO EJECUTIVO	5
2 INTRODUCCIÓN	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Objetivo	8
2.3 Alcance	9
3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	10
3.1 Datos generales del centro.....	10
3.1.1 Sector de actividad	10
3.1.2 Ubicación	10
3.2 Programa de trabajo.....	10
3.3 Principales equipos productores y transformadores de energía térmica	10
3.4 Esquema de funcionamiento de la planta	11
3.5 Procedimiento de operación actual	12
4 ESCENARIOS A ESTUDIO.....	14
4.1 Procedimiento de cálculo del precio de venta del vapor	14
4.2 Escenarios de referencia	14
4.2.1 Referencia para funcionamiento con 3 líneas	14
4.2.2 Referencia para funcionamiento con 2 líneas	15
4.3 Escenario actuales	16
4.3.1 Consideraciones generales.....	16
4.3.2 Escenario 1: Funcionamiento con 3 líneas	17
4.3.3 Escenario 2: Funcionamiento con 2 líneas	18
4.4 Escenarios futuros con demanda adicional	19
4.4.1 Escenario 3: Funcionamiento con 3 líneas (Caso A)	19
4.4.2 Escenario 4: Funcionamiento con 2 líneas (Caso A)	21

4.4.3 Escenario 5: Funcionamiento con 3 líneas (Caso B)	22
4.4.4 Escenario 6: Funcionamiento con 2 líneas (Caso B)	24
5 RESULTADOS	27
5.1 Precios de venta de la electricidad	27
5.2 Escenario 1: Funcionamiento con 3 líneas	28
5.3 Escenario 2: Funcionamiento con 2 líneas	29
5.4 Escenario 3: Funcionamiento con 3 líneas (CASO A)	30
5.5 Escenario 4: Funcionamiento con 2 líneas (CASO A)	31
5.6 Escenario 5: Funcionamiento con 3 líneas (CASO B)	32
5.7 Escenario 6: Funcionamiento con 2 líneas (CASO B)	33
5.8 Comparativa de resultados	34
6 CONCLUSIONES	35
7 BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXO DE CÁLCULO	38
RESUMEN	39

1 SUMARIO EJECUTIVO

La confección del presente estudio responde al encargo por parte de La Planta S.A. para la determinación del precio de venta del vapor generado en su planta. Esta planta, que actualmente genera energía eléctrica para la venta al mercado eléctrico y vapor, que suministra a la empresa *Terceros S.A.*, se plantea la necesidad de estudiar diversos escenarios de producción para evaluar distintas situaciones potenciales futuras que contemplan el aumento de la demanda de energía térmica por parte de *Terceros S.A.*

Para la determinación y cálculo del precio de venta del vapor se ha tomado como *Referencia* base la situación en que La Planta destina toda su capacidad única y exclusivamente a la producción de energía eléctrica, operando en un caso con tres líneas y en el otro con dos líneas. Así, en estas situaciones de referencia, los ingresos obtenidos por la empresa provienen de la venta de energía eléctrica; se calculan en base al volumen de energía producido y el precio de venta en el pool del mercado eléctrico. Este importe resultante representa el máximo de ingresos que la planta puede obtener mediante la comercialización de energía eléctrica y, según indicaciones de la planta, este importe debe ser el objetivo a mantener en cualquier escenario posible.

Atendiendo al criterio definido, el presente documento consiste en la determinación del precio de venta del vapor en seis escenarios distintos. El objetivo de este cálculo es permitir la toma de decisiones a nivel técnico y operativo, en base a dichos escenarios. Tal y como se ha comentado, ningún escenario debe arrojar ingresos totales por debajo del límite establecido por las situaciones denominadas de *Referencia*.

La expresión que nos permite calcular el precio de venta del vapor producido, garantizando que los ingresos totales (energía eléctrica + energía térmica) se mantengan en el valor establecido por las situaciones de *Referencia* es:

$$\text{Precio de venta energía térmica} = \frac{\text{Ingresos energía eléctrica (Referencia)} - \text{Ingresos energía eléctrica Escenario } n}{\text{Energía térmica suministrada a terceros}}$$

Así pues, la diferencia entre los ingresos provenientes de la venta de electricidad que aparece al realizar las comparaciones es la que se debe compensar mediante el ajuste del precio de venta de energía térmica a terceros.

En la siguiente tabla-resumen se ilustran las características básicas de cada uno de los escenarios estudiados así como el precio del vapor obtenido para cada uno de ellos, en unidades métricas (€/T) y en unidades de energía producida (€/MWh). Los distintos escenarios considerados así como sus características técnicas se encuentran descritas detalladamente en el contenido de este informe.

Escenarios	Valores operativos Vapor			Precio del Vapor	
	Prod. (T/h)	Terceros S.A. (T/h)	Incremento de demanda (MW)	€/T	€/MWh
Escenario 1	140	21,68	0	10,99	15,89
Escenario 3			14 MW (A3/A4)	10,40	14,74
Escenario 5			14 MW (retorno cond./A3)	9,91	14,05
Escenario 2	100	21,68	0	14,36	20,75
Escenario 4			14 MW (AP)	13,31	18,88
Escenario 6			14 MW (retorno cond./AP)	13,38	18,97

Tabla 1.1 Tabla-resumen de precios del vapor en función del escenario considerado

En las figuras siguientes se pueden observar y comparar gráficamente los distintos escenarios frente a la situación de Referencia asociada a cada grupo de casos estudiado (operando con tres líneas y con dos líneas).

Se observa cómo, en ambos casos, se ajustan los ingresos totales de los escenarios estudiados a los correspondientes al caso de *Referencia*, obteniendo para cada caso un precio para el vapor a comercializar.

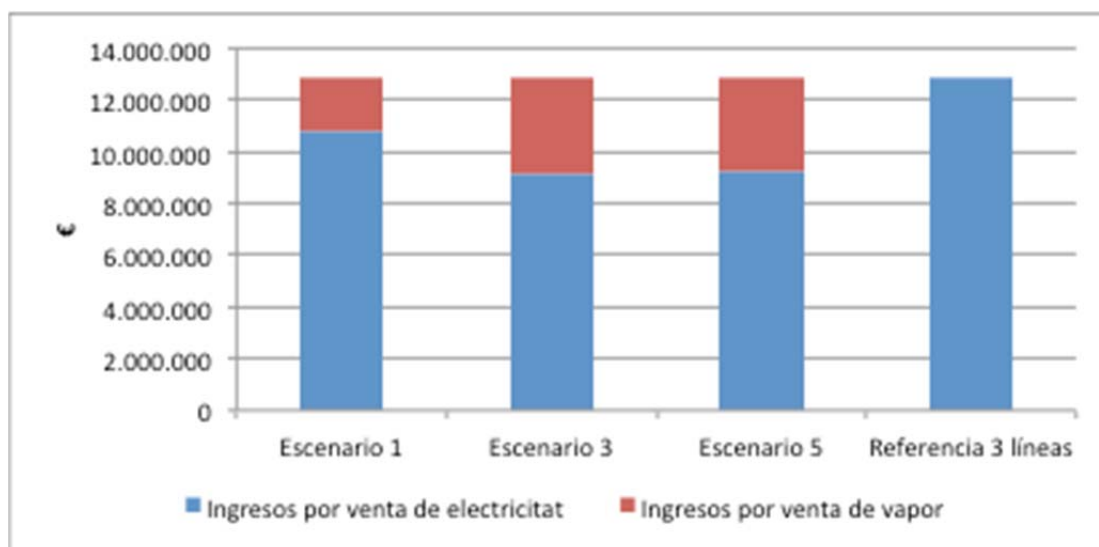


Figura 1.1 Distribución de los ingresos en función de su naturaleza en los distintos escenarios, operando con tres líneas en funcionamiento

Los resultados obtenidos demuestran que, sin entrar a valorar otros aspectos que pudieran influir, como por ejemplo la inversión necesaria para implementar esta opción, sería recomendable optar por suministrar la nueva demanda mediante el retorno de condensados, tanto en la situación operativa con tres líneas como en la de dos.

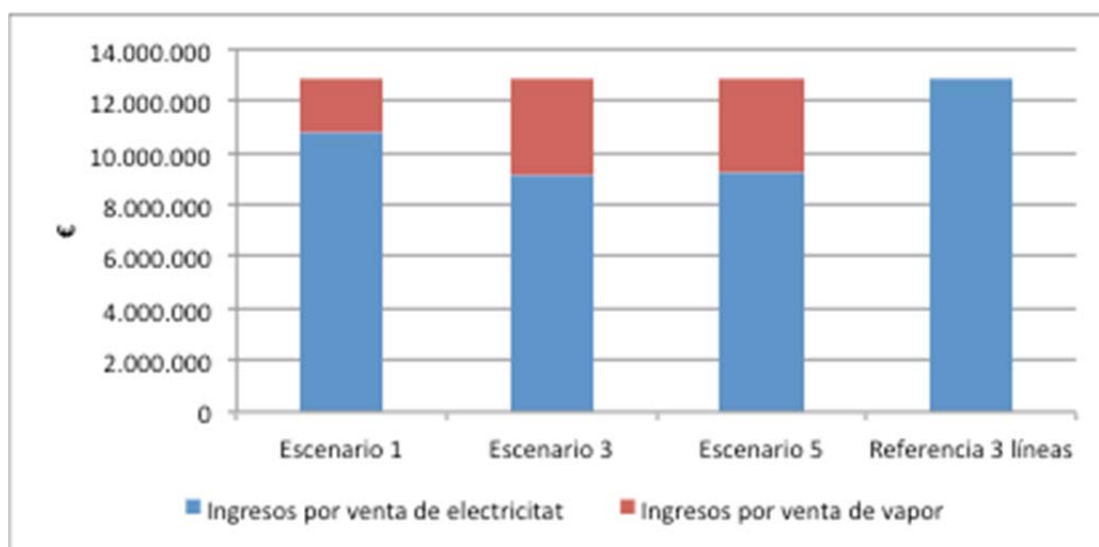


Figura 1.2 Distribución de los ingresos en función de su naturaleza en los distintos escenarios, operando con dos líneas en funcionamiento

Finalmente, para disponer de una referencia del precio de coste de generación de vapor mediante calderas de vapor convencionales, y al objeto de situarnos en el punto de vista del cliente de la planta y disponer del orden de magnitud que representa el límite máximo razonable por debajo del cual a Terceros S.A. le compensaría disponer de equipos de generación de vapor propios, se adjunta una comparativa de los resultados obtenidos frente a una referencia aceptada en el sector.

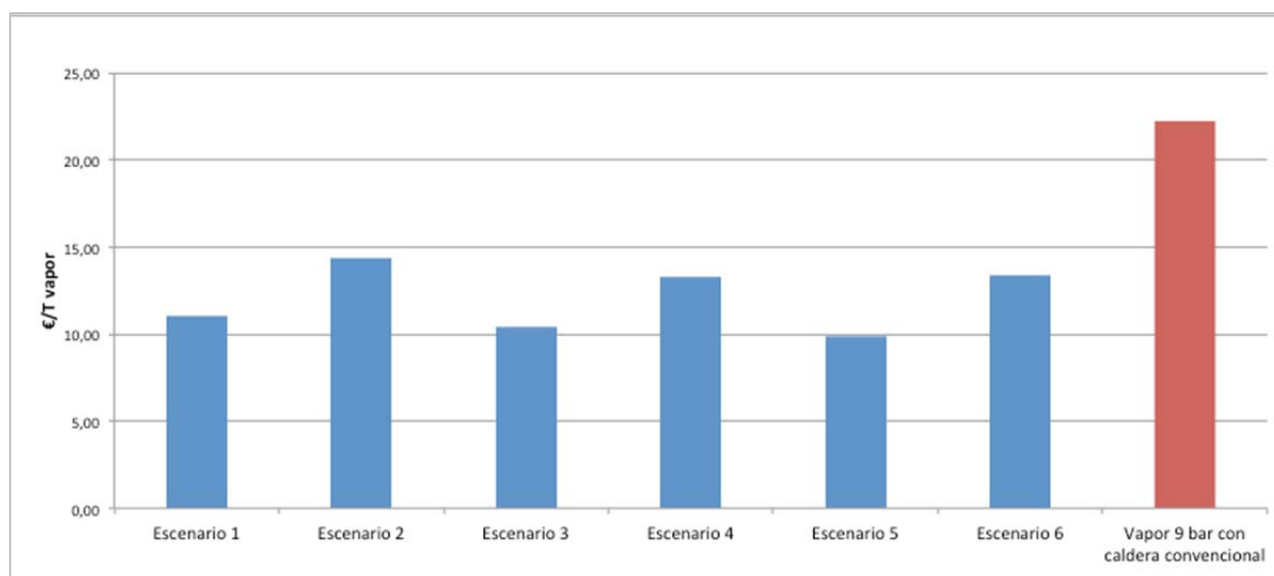


Figura 1.3 Comparativa de precios del vapor obtenido en los diferentes escenarios frente al precio de coste de referencia

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes

La Planta S.A. es una compañía especializada en seleccionar, tratar, controlar, gestionar y valorizar diferentes tipos de residuos que le son suministrados desde distintos orígenes.

En la planta objeto del presente estudio se tratan y gestionan los residuos, disminuyendo su impacto ambiental. Cada una de las diferentes fracciones de los residuos se valorizan con procesos específicos por sus características, recuperándolos, reutilizándolos o transformándolos en energía.

La valorización energética es un proceso que minimiza el volumen de los residuos mediante su combustión y que aprovecha la energía que genera este proceso, para producir vapor y electricidad.

Tanto el vapor generado mediante el calor presente en los humos de la combustión como la electricidad, producida por los grupos turbo-generadores, son comercializados a terceros, exceptuando el autoconsumo que representa una cifra despreciable respecto al total. La producción de vapor se vende a *Terceros S.A.* y ésta lo utiliza para su proceso de producción. Por otro lado, la producción de electricidad se comercializa en el mercado eléctrico.

Los materiales resultantes de este proceso son las escorias y las cenizas, que reciben un tratamiento diferenciado en función de su naturaleza. Por un lado, las escorias son aprovechadas para relleno de carreteras, construcciones, restauración de canteras o como subproducto de cementeras. Por otro lado, las cenizas se recogen en un depósito controlado donde son inertizadas.

La valorización energética de los residuos que se lleva a cabo en plantas como ésta presenta evidentes ventajas medioambientales para la sociedad, no obstante su coste económico es mayor que el abocamiento de los residuos en vertederos controlados. Para que una planta dedicada a esta actividad sea rentable, su actividad ha de financiarse con los ingresos que genera la venta de la energía que produce.

Es en este contexto donde cobra importancia la realización de un estudio que determine un precio de venta de los vectores energéticos que produce la actividad de la planta. La supervivencia de la instalación y de los beneficios que genera para la sociedad en general dependen de encontrar ese punto de equilibrio.

2.2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es la estimación de un valor económico para las ventas de la energía producida en la planta mediante la combustión de los residuos. Se determinará un valor de venta del vector vapor en cada uno de los escenarios estudiados, mientras que el vector electricidad se vende al precio fijado en las subastas del mercado eléctrico.

Mediante la asunción de algunos valores en cada momento y del asentamiento de una base de cálculos numéricos se obtendrán el resultado para cada escenario estudiado, que se analizará en función de los valores asumidos como ciertos descritos para cada caso. Los valores obtenidos

servirán para la toma de decisiones en la operación diaria de la planta y permitirán maximizar el rendimiento económico de los residuos tratados.

2.3 Alcance

El documento alcanza a estudiar seis escenarios de funcionamiento de la planta: dos de ellos correspondientes a las situaciones actuales y cuatro correspondientes a situaciones potenciales futuras que prevén un aumento de la demanda de vapor de venta.

Los dos escenarios actuales se corresponden con las situaciones de funcionamiento de dos y tres líneas (hornos) de la planta con una demanda constante de vapor de venta de 20 MW. Por su parte, en los cuatro escenarios futuros también se estudiarán las situaciones de operación de planta con dos y tres líneas, pero considerando un aumento de la demanda de venta de vapor en 14 MW adicionales, diferenciándose cada escenario según dos operativas diferentes de planta con las que poder suministrar ese vapor.

Los valores calculados están sujetos a variaciones en tanto se modifiquen las hipótesis de cálculo. No obstante, el orden de magnitud de los resultados no debe sufrir modificaciones significativas.

A continuación se describen brevemente las condiciones de trabajo de cada uno de los escenarios descritos:

Actuales	Escenario 1		Escenario 2	
	Caudal [T/h]	Comentarios	Caudal [T/h]	Comentarios
Vapor producido	140	Según medias diarias	100	Según medias diarias
Vapor a Terceros S.A.	21,68	Desde turbina 2	21,68	Desde turbina 2

Tabla 2.1 Descripción de Escenarios de Actuales

Futuro	Escenario 3		Escenario 4	
	Caudal [T/h]	Comentarios	Caudal [T/h]	Comentarios
Vapor producido	140	Según medias diarias	100	Según medias diarias
Vapor a Terceros S.A.	21,68	Desde turbina 2	21,68	Desde turbina 2
Potencia nueva demanda adicional	14 MW	Desde extracciones A3 y A4	14 MW	Desde extracciones A3 y A4
Futuro	Escenario 5		Escenario 6	
	Caudal [T/h]	Comentarios	Caudal [T/h]	Comentarios
Vapor producido	140	Según medias diarias	100	Según medias diarias
Vapor a Terceros S.A.	21,68	Desde turbina 2	21,68	Desde turbina 2
Vapor nueva demanda 14 MW	14 MW	Desde retorno condensados	14 MW	Desde retorno condensados

Tabla 2.2 Descripción de potenciales Escenarios Futuros

3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

3.1 Datos generales del centro

3.1.1 Sector de actividad

Como se ha comentado, la planta es una empresa especializada en seleccionar, tratar, controlar, gestionar y valorizar los residuos municipales.

El proceso industrial realizado en la planta comienza con la recepción de la fracción orgánica de los residuos municipales, continúa con un proceso de selección y finaliza con la incineración de la parte correspondiente en las tres líneas de las que dispone la planta. La valorización energética de estos residuos se produce mediante la conversión de la energía térmica generada con su combustión en vapor sobrecalentado y electricidad, comercializando ambos vectores a terceros.

El sector de actividad de la sociedad queda recogido en los CNAE 3822 - 3831 - 3832.

3.1.2 Ubicación

La planta de está situada en una parcela con una superficie aproximada de unos 25.000 m².

3.2 Programa de trabajo

Las tres líneas de la planta funcionan 24 horas al día durante 7 días a la semana y durante todos los días del año parando únicamente para mantenimientos programados.

Los grupos turbogeneradores también funcionan todas las horas del año si las condiciones operativas lo requieren, salvando también las paradas por mantenimiento.

3.3 Principales equipos productores y transformadores de energía térmica

A continuación se describen someramente las características de los dos turbo-generadores presentes, en tanto que elementos principales del ciclo y mediante los cuales se genera la electricidad.

Turbina 1:

- Potencia eléctrica: 28 MW
- Número de extracciones: 4
- Número de etapas: 1

Turbina 2:

- Potencia eléctrica: 6 MW
- Número de extracciones: 1
- Número de etapas: 2

3.4 Esquema de funcionamiento de la planta

La actividad principal de la planta es la incineración de residuos en tres líneas diferentes en disposición paralela. La energía térmica generada durante la combustión y asociada a los gases de escape de los hornos permite una valorización energética de los residuos incinerados. Se utiliza esta energía térmica para generar vapor en los sobrecalentadores instalados en cada una de las líneas.

Cabe destacar en líneas generales que la planta opera según un ciclo de Rankine. Sus principales equipos son los generadores de vapor (tres hornos), los equipos de expansión del vapor que producen trabajo (dos turbinas) y los tres condensadores. A partir de este esquema de funcionamiento básico, existen particularidades que hacen viable su operación y que se tratan de explicar brevemente a continuación.

El vapor sobrecalentado se produce, como se ha comentado, en los sobrecalentadores de las tres líneas de incineración y es enviado a un colector de alta presión. El colector de alta presión distribuye el vapor hacia los siguientes puntos (algunos de ellos no aparecen en el esquema adjunto):

- Vapor a turbina 1
- Vapor a eyectores de alta presión
- Vapor a eyectores auxiliares
- Vapor a turbobomba
- Vapor a *Terceros S.A.* desde alta presión
- Vapor a turbina 2
- Vapor a precalentadores de alta presión d'AP
- Vapor a colector de baja presión BP
- Vapor a by-pass

El esquema simplificado de la planta es el siguiente:

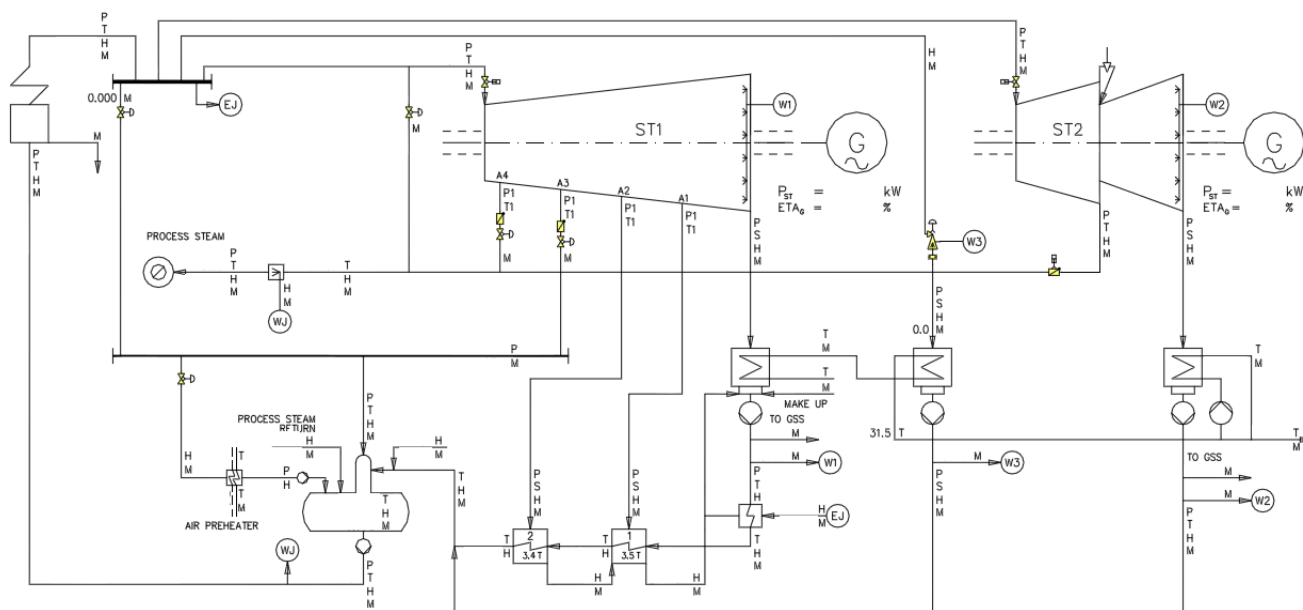


Figura 3.1 Esquema simplificado de funcionamiento de la planta

La turbina 1 dispone de cuatro extracciones. La primera de ellas (A4) está actualmente inhabilitada, la segunda (A3) abastece al colector de baja presión y las dos últimas (A2 y A1) sirven para precalentar el condensado en su regreso al tanque de retorno.

La turbina 2 dispone de una única extracción, que se utiliza para la venta de vapor a *Terceros S.A.* Esta turbina tiene dos etapas, una de alta presión y otra de baja presión. El rendimiento de esta turbina es menor que el de la turbina 1 y su puesta en marcha depende de las condiciones operativas de la planta.

Los autoconsumos de baja presión de la planta (pre-calentadores de aire y desgasificación del condensado) se suministran desde el colector de baja presión a 5 bar. También existe un autoconsumo menor de vapor desde el colector de alta presión.

Tal y como puede observarse en el esquema, la venta de vapor a terceros (*Terceros S.A.*) se puede producir desde el colector de alta presión – mediante una válvula que reduce la presión desde 40 a 9 bar – o bien desde la extracción de la turbina 2.

3.5 Procedimiento de operación actual

Para definir el funcionamiento actual se deben diferenciar dos situaciones diferentes, cuando la planta opera con tres líneas y cuando opera con dos líneas. Asimismo, la manera de proceder depende también de la demanda de vapor de *Terceros S.A.*, siendo ésta variable en función de la época del año.

Cuando la planta opera con tres líneas, a máxima capacidad, y no existe consumo de vapor por parte de *Terceros S.A.*, se abastece el autoconsumo de vapor de la planta mediante vapor de alta presión del colector AP y se envían un máximo de 120 T/h a la turbina 1 (caudal máximo de la turbina). En esta situación, si hubiera vapor sobrante se enviaría al condensador de by-pass. No es económicamente rentable enviarlo a la turbina 2, dada la pequeña cantidad de vapor que supone, además de no llegarse al mínimo técnico de dicha turbina.

En el momento en que existe consumo de vapor por parte de *Terceros S.A.* y éste toma valores considerables se pone en marcha la turbina 2 y se extrae el vapor necesario desde su extracción intermedia. En esta situación los autoconsumos de vapor de la propia planta se alimentan desde la extracción A3 de la turbina 1.

Cuando la planta opera con dos líneas, y no existe consumo de vapor por parte de *Terceros S.A.*, se envía la mayor parte del vapor a la turbina 1 y se abastece el autoconsumo de vapor de la planta por su extracción A3.

En caso que el consumo de vapor de *Terceros S.A.* alcanzara un volumen mayor, entonces se pondría también en marcha la turbina 2 y se extraería el vapor necesario desde su extracción intermedia.

4 ESCENARIOS A ESTUDIO

4.1 Procedimiento de cálculo del precio de venta del vapor

El precio de venta del vapor se ha determinado por comparación con las situaciones de referencia, tal y como se detallan en el siguiente apartado.

La diferencia entre la potencia eléctrica generada en cada escenario frente a la potencia eléctrica generada en las situaciones de referencia redonda en una energía eléctrica que se deja de vender en el mercado eléctrico y, en definitiva, en unos ingresos que dejan de percibir. Esto ocurre por estarse dedicando parte del vapor a su venta en vez de a generar electricidad.

Se calculan por tanto estos ingresos que se dejan de percibir por venta de electricidad en cada escenario respecto de la referencia.

El precio de venta del vapor (o de la energía térmica vendida) se determina con la relación entre los ingresos que se dejan de percibir en cada escenario y la cantidad de vapor (o energía térmica) vendida también en cada escenario.

4.2 Escenarios de referencia

Se definen a continuación las situaciones que servirán como base de comparación de los escenarios de estudio. La situación de referencia de funcionamiento de la planta es una situación donde el ingreso económico es el máximo posible.

4.2.1 Referencia para funcionamiento con 3 líneas

Maximizar el ingreso económico en una situación de funcionamiento de las tres líneas de incineración requiere una maximización del vapor enviado a la turbina 1 (120 T/h), trabajando ésta al máximo de su capacidad. Esto obliga a no destinar vapor para la venta a terceros, manteniendo también parada la turbina 2. El vapor sobrante (7,13 T/h) que no puede absorber la turbina se envía al by-pass.

Se ha comprobado por cálculo que esta situación descrita es, no obstante, menos favorable en cuanto a producción eléctrica global que la de destinar el vapor de by-pass y una pequeña cantidad de vapor de la turbina 1 a turbinar en la turbina 2. Esta situación operativa se caracteriza por la siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de referencia para 3 líneas		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	140	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,17	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP (consumos BP)	11,70	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 1	117,13	
Caudal extracción A3	0	
Caudal vapor a turbina 2	10	Mínimo técnico

Situación operativa de referencia para 3 líneas		
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	0	
Potencia eléctrica generada turbina 1	24,13	MW
Potencia eléctrica generada turbina 2	2,57	MW
Potencia eléctrica total generada	26,71	MW

Tabla 4.1 Referencia para tres líneas

Esta situación de referencia consiste en poner en marcha la turbina 2 enviando hacia ella su mínimo técnico de 10 T/h. Este caudal proviene del que se enviaba a by-pass más una pequeña parte del que se enviaba a la turbina 1, que conlleva el detrimento de la electricidad producida por esta última. No obstante, la producción eléctrica total es mayor porque no se está enviando vapor al by-pass. Es decir, compensa dejar de enviar casi 3 T/h de vapor a la turbina 1 y, en su lugar, enviarlas a la turbina 2 junto con las 7 T/h que se dejan de enviar por el by-pass.

Como se ha comprobado, la segunda de las situaciones es ligeramente superior en cuanto a energía eléctrica producida e ingreso económico asociado. Por tanto, ésta última será la situación que se tomará como referencia para los escenarios con la producción base de vapor de tres líneas.

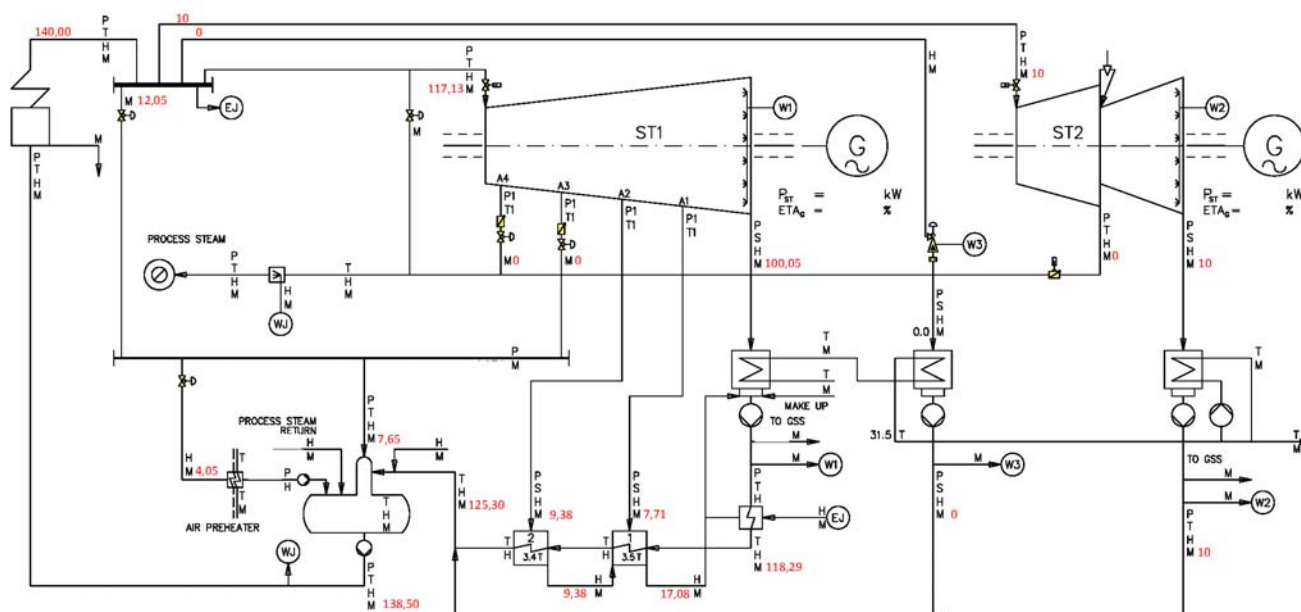


Figura 4.1 Esquema de funcionamiento de la planta en la situación de referencia con 3 líneas

4.2.2 Referencia para funcionamiento con 2 líneas

En la modalidad de funcionamiento con dos líneas de incineración, la maximización de los ingresos pasa también por maximizar el caudal de vapor enviado a la turbina 1. En este caso no se produce vapor suficiente para llegar al máximo de la turbina por lo que, una vez satisfecho el autoconsumo de alta presión de la planta, el resto del vapor se envía a la turbina 1.

La situación operativa se caracteriza por la siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de referencia para 2 líneas		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	100	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,08	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP	0	
Caudal vapor a turbina 1	98,92	
Caudal extracción A3 (consumos BP)	6,79	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 2	0	
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	0	
Potencia eléctrica generada turbina 1	19,39	MW
Potencia eléctrica generada turbina 2	0	MW
Potencia eléctrica total generada	19,39	MW

Tabla 4.2 Referencia para dos líneas

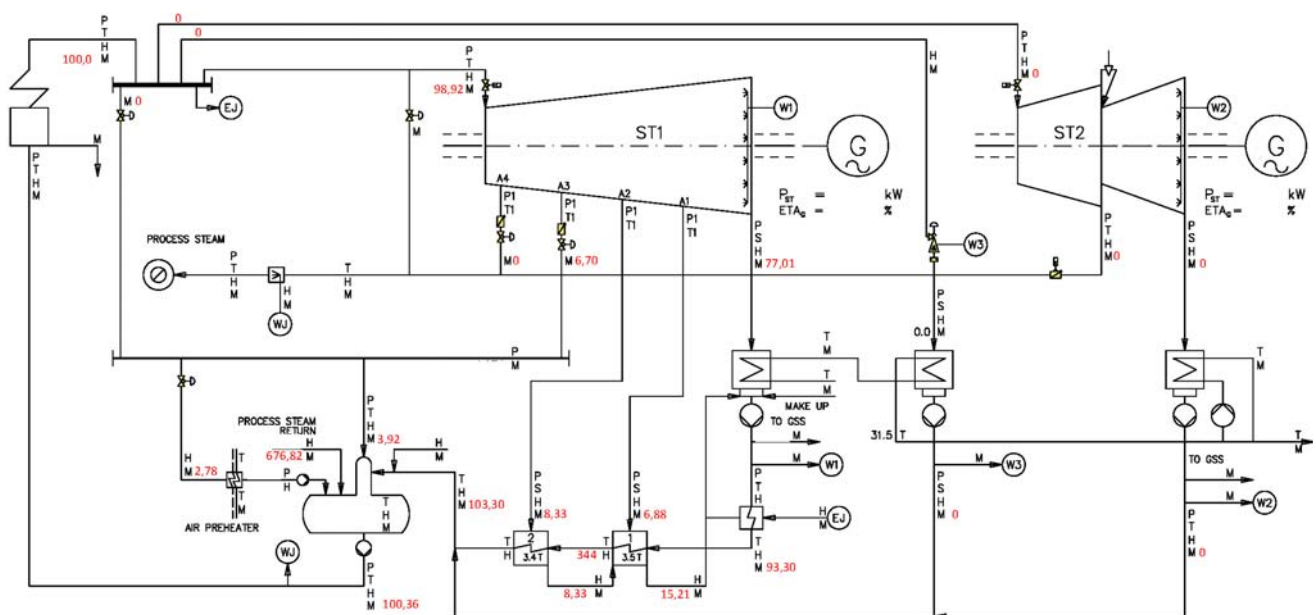


Figura 4.2 Esquema de funcionamiento de la planta en la situación de referencia con 2 líneas

4.3 Escenario actuales

4.3.1 Consideraciones generales

Para el estudio de los escenarios planteados se han asumido como ciertos algunos valores que facilitan la consecución de resultados. La mayoría de ellos tienen que ver con valores de entalpía de algunos de los puntos del ciclo.

Los valores de entalpía que se han asumido en los puntos indicados para todos los escenarios estudiados son los siguientes:

Valores generales asumidos para todos los escenarios			
he	3.215,80	kJ/kg	Entrada turbina 1
h4	3.100,00	kJ/kg	Extracción A4
hA3	2.900,00	kJ/kg	Extracción A3
hA2-1	2.710,00	kJ/kg	Extracción A2
hA2-2	515,00	kJ/kg	Salida vapor pre-calentador 2
hA1-1	2.538,20	kJ/kg	Extracción A1
XvapA1	95	%	Título vapor extracción A1
hf	2.335,00	kJ/kg	Salida turbina 1 (Psat 0,068 bara)
Xvaporf	84,75	%	Título vapor salida turbina
hSC	161,00	kJ/kg	Entrada condensado pre-calentador 1
hMC	344,00	kJ/kg	Salida condensado pre-calentador 1
hcT2	170,00	kJ/kg	Salida condensador-bomba turbina 2
hcondesatsDC	293,07	kJ/kg	Retorno condensados Terceros S.A.
hBP	2.900,00	kJ/kg	Entalpía vapor colector BP
η generador	89	%	Rendimiento del generador T.1

Tabla 4.3 Consideraciones generales asumidas en el cálculo

Los valores asumidos específicamente para cada escenario se comentaran, si es necesario, en el apartado correspondiente.

Por tanto, los resultados obtenidos en el estudio de los escenarios serán sensiblemente dependientes a la variación de estos valores.

4.3.2 Escenario 1: Funcionamiento con 3 líneas

Este escenario plantea una situación parecida a las de referencia pero añadiendo una demanda constante de vapor de *Terceros S.A.* de 15 MW a 9 bar suministrada desde la extracción de la turbina 2.

La definición anterior del escenario se traduce en una situación operativa caracterizada por la siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de para el escenario 1		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	140	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,17	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP	0	
Caudal vapor a turbina 1	107,16	
Caudal extracción A3 (consumos BP)	13,02	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2

Tabla 4.4 Distribución de caudales de vapor en el escenario 1

Los valores anteriores son el resultado de un balance en el colector de alta presión, utilizando por un lado las medias diarias de vapor producido y de autoconsumos propios en alta presión y, por el otro, los valores de demanda de vapor a suministrar a *Terceros S.A.* La variable de salida en este caso es el caudal de vapor a turbina 1, con un valor resultante de 107,16 T/h.

Cabe aclarar que el valor de vapor enviado a la turbina 2 es la suma del vapor necesario para entregar 15 MW a *Terceros S.A.* más un mínimo técnico de vapor recomendado por el fabricante que debe pasar a la segunda etapa de la turbina para su correcto funcionamiento.

Los autoconsumos de baja presión se suministran en este escenario desde el colector de baja presión, alimentado éste desde la extracción A3. El esquema siguiente muestra los valores de caudal y entalpía en los puntos más importantes de la instalación bajo la operativa indicada anteriormente.

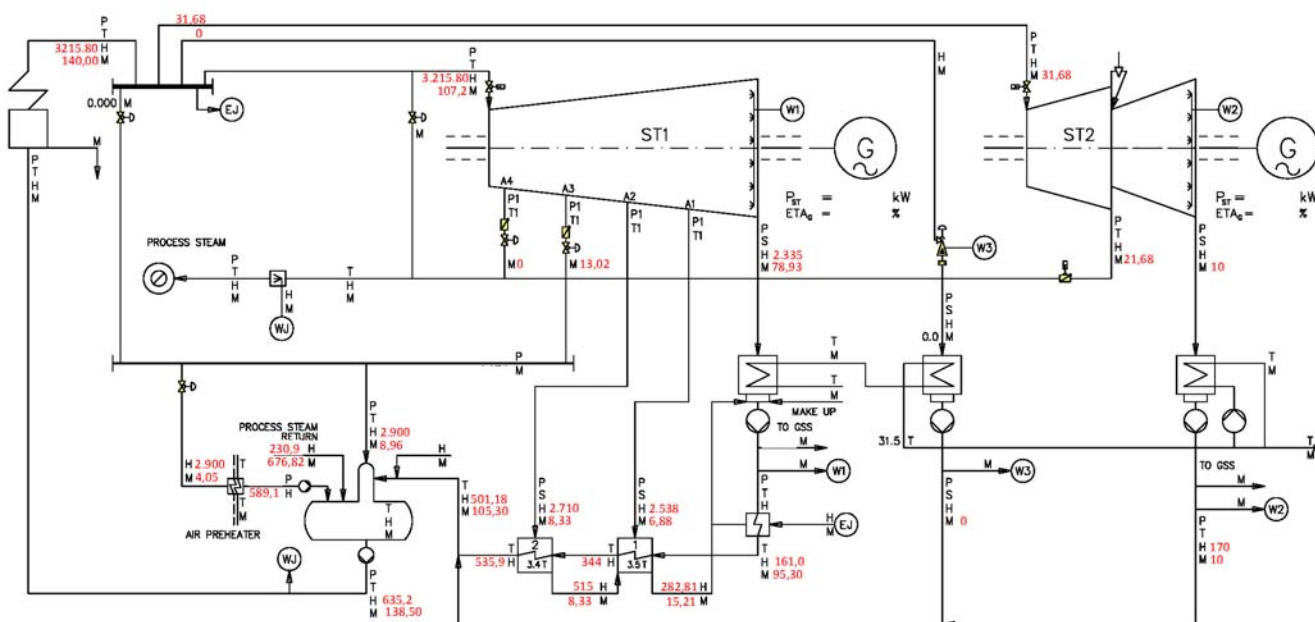


Figura 4.3 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 1

4.3.3 Escenario 2: Funcionamiento con 2 líneas

De forma análoga al caso anterior, en este escenario también se añade a la situación de referencia de dos líneas de incineración una demanda constante de vapor de *Terceros S.A.* de 15 MW a 9 bar suministrada desde la extracción de la turbina 2.

La definición anterior del escenario se traduce en una situación operativa caracterizada por la siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de para el escenario 2		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	100	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,08	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP (consumos BP)	10,46	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 1	56,78	

Caudal extracción A3	0	
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2

Tabla 4.5 Distribución de caudales de vapor en el escenario 2

De igual manera que en el apartado anterior, los valores anteriores son el resultado de un balance en el colector de alta presión, utilizando por un lado las medias diarias de vapor producido y de autoconsumos propios en alta y en baja presión y, por el otro, los valores de demanda de vapor a suministrar a *Terceros S.A.*.

El caudal resultante de vapor a turbina 1 es de 56,78 T/h, sensiblemente inferior al caso anterior por operar únicamente con dos líneas y debido, también, al hecho de suministrar vapor al colector de BP directamente desde el de AP. En este caso, debido al bajo caudal que entra en la turbina, no se puede realizar extracción por A3, punto habitual de alimentación del colector BP.

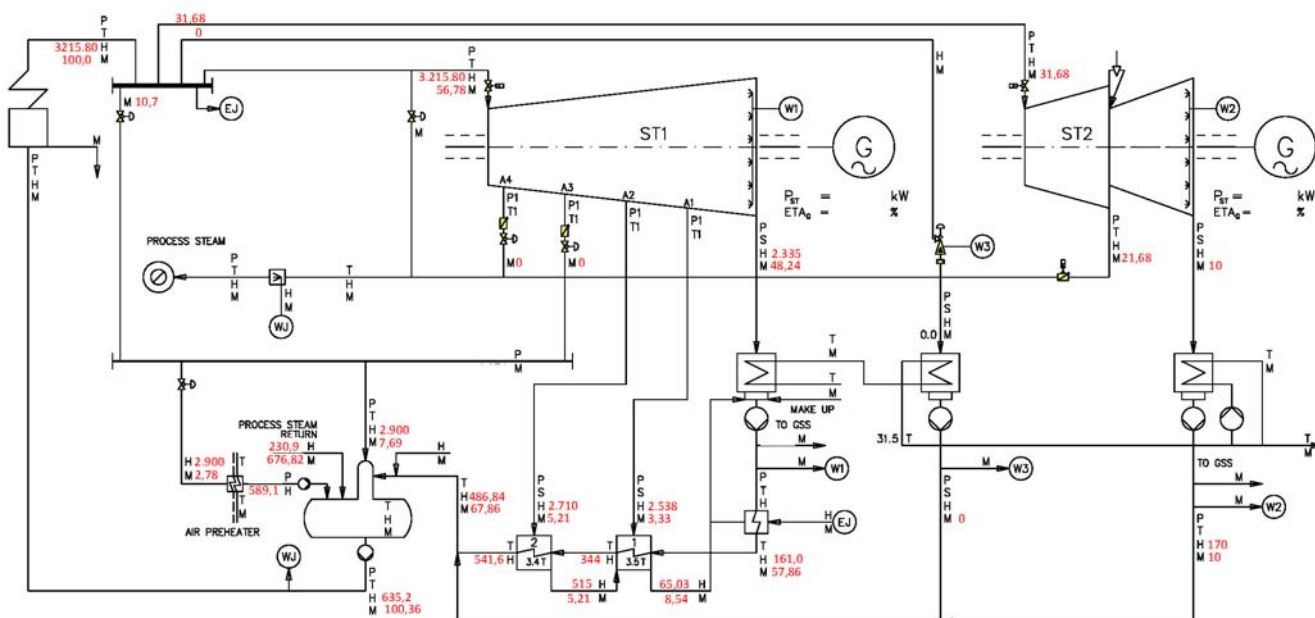


Figura 4.4 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 2

4.4 Escenarios futuros con demanda adicional

Los siguientes escenarios plantean todas las situaciones potenciales futuras de aumento de la demanda de vapor por parte de terceros. ***Se estudia el impacto que tendría este aumento en el precio final de venta según se suministre esta demanda adicional a través de las extracciones de la turbina 1 o del retorno de condensados.***

4.4.1 Escenario 3: Funcionamiento con 3 líneas (Caso A)

Este escenario plantea un aumento de la demanda futura de 14 MW suministrado desde la extracción A3 y si fuese necesario también desde la A4. Se mantiene también la demanda de vapor de 15 MW de los dos escenarios anteriores suministrada desde la extracción de la turbina 2.

La situación operativa de este escenario se caracteriza por la siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de para el escenario 3		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	140	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,17	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP	0	
Caudal vapor a turbina 1	107,16	
Caudal extracción A4	5,79	3,9 MW (nueva demanda)
Caudal extracción A3	28,54	Consumos BP (según medias diarias) + 11,7 MW (nueva demanda)
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2

Tabla 4.6 Distribución de caudales de vapor en el escenario 3

El balance en el colector de alta presión tiene como resultado un caudal de vapor a turbina 1 de 107,16 T/h, igual que en el escenario 1.

Como se ha comentado, la extracción A3 no puede por sí sola suministrar los 14 MW requeridos por la nueva demanda siendo necesario utilizar también vapor de la extracción A4. De este modo, la extracción A3 suministra 11,1 MW y la A4 suministra 4,5 MW brutos.

Los autoconsumos de baja presión se suministran en este escenario desde el colector de baja presión, alimentado éste desde la extracción A3.

Los valores asumidos específicamente para este escenario son las siguientes:

Valores asumidos para el escenario 3			
haguacaldera	635,20	kJ/kg	Retorno de agua a caldera desde tanque
hcondesats14MW	335,01	kJ/kg	Retorno a tanque condensado aportes A3 y A4 nueva demanda (14 MW)

Tabla 4.7 Valores específicos para el escenario 3

Las principales acciones necesarias a nivel conceptual a llevar a cabo en la planta para la implementación de este escenario son las siguientes:

- Derivación desde la extracción A4
- Instalación de un intercambiador vapor-agua de 4,5 MW
- Derivación desde la extracción A3
- Instalación de un intercambiador vapor-agua de 11,1 MW

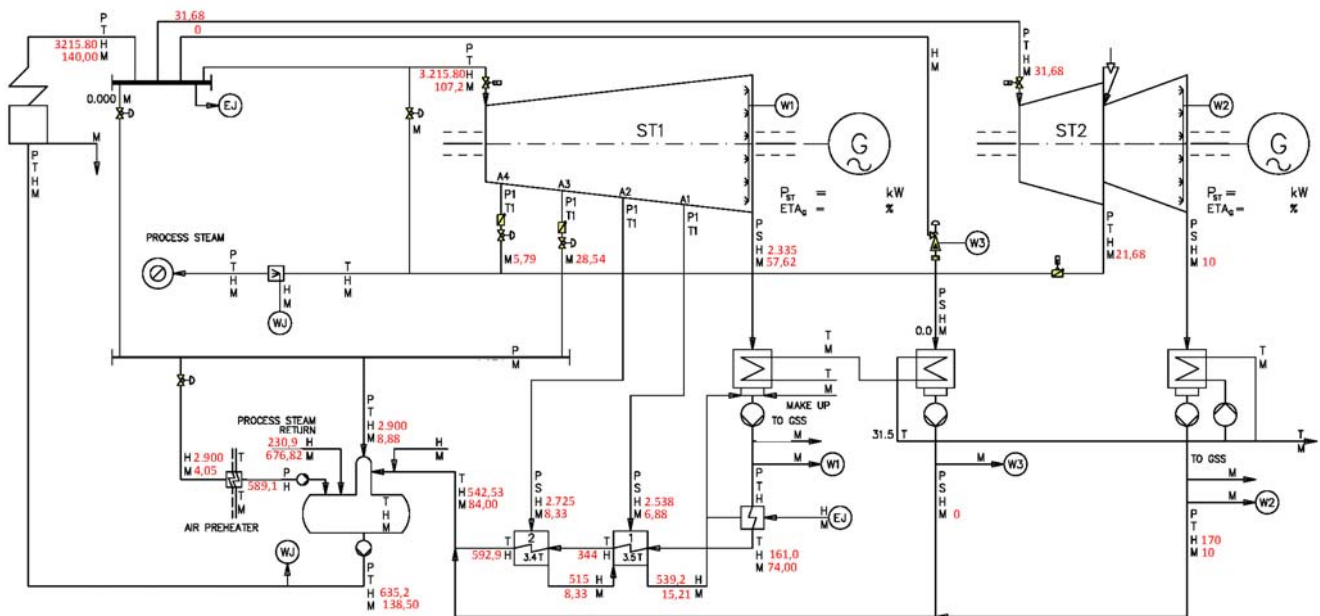


Figura 4.5 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 3

4.4.2 Escenario 4: Funcionamiento con 2 líneas (Caso A)

El planteamiento inicial de este escenario pretendía suministrar los 14 MW de la nueva demanda a través de las extracciones A3 y A4, análogamente a la situación presentada en el escenario 3. Con el análisis realizado se demuestra que no se puede enviar el caudal necesario a la turbina 1 para que en las extracciones A3 y A4 se mantenga la presión adecuada, haciéndose técnicamente inviable realizarlo de esta manera. La alternativa que se plantea es la de suministrar la futura demanda de 14 MW desde el colector AP. Se mantiene también la demanda de vapor de 15 MW de los tres primeros escenarios suministrada desde la extracción de la turbina 2.

La situación operativa de este escenario se caracteriza por la siguiente distribución de caudales de vapor:

Situación operativa de para el escenario 4		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	100	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,08	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP (consumos BP)	11,21	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 1	36,59	
Caudal extracción A4	0	Presión en A4 demasiado baja
Caudal extracción A3	0	Presión en A3 demasiado baja
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2
Caudal vapor nueva demanda 14 MW desde colector AP	19,44	Desde colector AP 14 MW

Tabla 4.8 Distribución de caudales de vapor en el escenario 4

Al haber solamente dos líneas en funcionamiento el vapor producido es menor, así como también el suministrado a la turbina 1, que es únicamente de 36,59 T/h. Por este motivo no se pueden utilizar las extracciones de vapor A3 y A4 porque la presión bajaría por debajo de la especificación recomendada por el fabricante.

Los autoconsumos de baja presión se suministran en este escenario desde el colector de alta presión que también suministra el vapor demandado por la nueva demanda.

Los valores asumidos específicamente para este escenario son las siguientes:

Valores asumidos para el escenario 4			
haguacaldera	635,20	kJ/kg	Retorno de agua a caldera desde tanque
hcondesats14MW	335,01	kJ/kg	Retorno a tanque del condensado del aporte AP a nueva demanda (14 MW)

Tabla 4.9 Valores específicos para el escenario 4

Las principales acciones necesarias a nivel conceptual a llevar a cabo en la planta para la implementación de este escenario son las siguientes:

- Derivación desde la tubería de conexión del colector AP al BP
- Instalación de un intercambiador vapor-agua de 15,6 MW

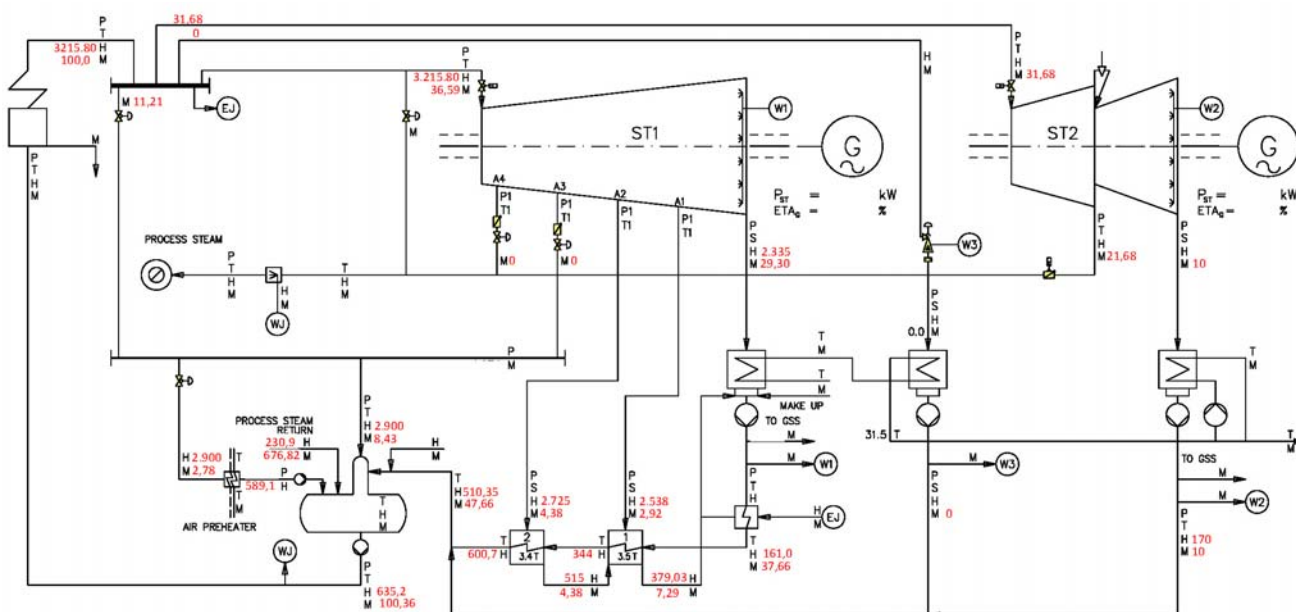


Figura 4.6 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 4

4.4.3 Escenario 5: Funcionamiento con 3 líneas (Caso B)

El escenario 5 plantea el suministro de vapor para la nueva demanda de 14 MW desde el retorno de condensados de ambas turbinas.

Se comprueba que el caudal de retorno de condensados no puede aportar la totalidad de la demanda adicional. Para solventar este inconveniente, primeramente, y por indicación de los responsables de la planta, se estudia dar apoyo con el retorno de condensados de *Terceros S.A.*, pero se concluye que tampoco es suficiente para llegar a los 14 MW debido a la baja entalpía de estos condensados.

Dada la problemática anterior, se decide que la potencia que no pueden aportar los condensados la aporte la extracción A3, en una situación parecida a la presentada en el escenario 3.

La situación operativa de este escenario se caracteriza por la siguiente distribución de caudales de vapor:

Situación operativa de para el escenario 5		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	140	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,17	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP	0	
Caudal vapor a turbina 1	107,16	
Caudal extracción A4	0	
Caudal extracción A3	32,78	Consumos BP (según medias diarias) + 10 MW (nueva demanda)
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2

Tabla 4.10 Distribución de caudales de vapor en el escenario 5

En este caso el balance en el colector de AP se traduce en un caudal enviado a la turbina 1 de 107,16 T/h. Como se ha comentado, los condensados de ambas turbinas no pueden aportar enteramente la nueva demanda y se apoya con la extracción A3. De esta manera, los condensados pueden aportar hasta 6,3 MW, aportándose el resto desde la extracción A3 (9,3 MW).

Los autoconsumos de baja presión se suministran en este escenario desde el colector de baja presión, alimentado éste desde la extracción A3.

Los valores asumidos específicamente para este escenario son los siguientes:

Valores asumidos para el escenario 5			
hcondensado turbinas	600,00	kJ/kg	Condensado de turbinas antes intercambiador nueva demanda
hcondensado	335,01	kJ/kg	Condensado de turbinas después intercambiador nueva demanda
hcondensado14MW	335,01	kJ/kg	Retorno a tanque del condensado del aporte A3 a nueva demanda (6,5 MW)

Tabla 4.11 Valores específicos para el escenario 5

Se entiende por los valores anteriores que se consigue aprovechar la energía del condensado de turbinas a través de un salto entálpico desde 600 kJ/kg hasta 335,01 kJ/kg. Es decir, queda fijada la variación de entalpía y se calcula el caudal de condensado necesario. De esta manera se demuestra que no existe suficiente caudal para suministrar los 14 MW adicionales.

Las principales acciones necesarias a nivel conceptual a llevar a cabo en la planta para la implementación de este escenario son las siguientes:

- Derivación desde el retorno de condensados a tanque
- Instalación de un intercambiador agua-agua de 6,3 MW
- Derivación desde la extracción A3
- Instalación de un intercambiador vapor-agua de 9,3 MW

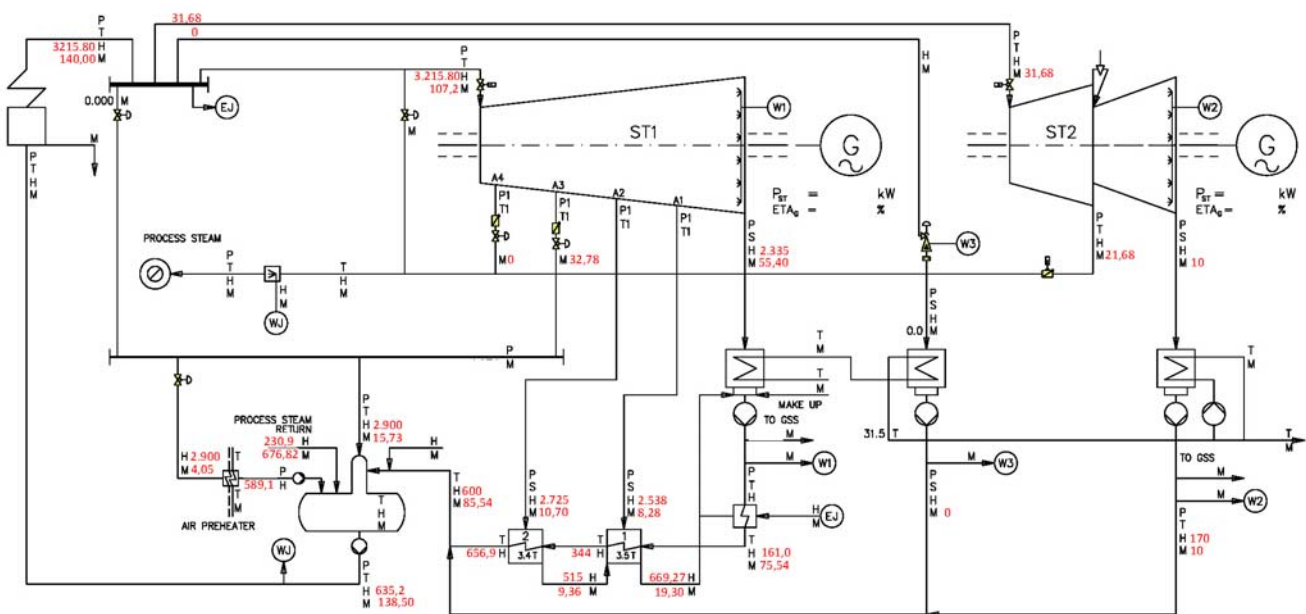


Figura 4.7 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 5

4.4.4 Escenario 6: Funcionamiento con 2 líneas (Caso B)

En el último escenario considerado se presenta la misma situación que en el Escenario 5, pero únicamente con dos líneas de incineración en funcionamiento.

De igual manera se comprueba que el caudal de retorno de condensados no puede aportar la totalidad de la demanda adicional ni tampoco con el apoyo del retorno de condensados de Terceros S.A.. En este caso no se puede extraer vapor ninguno por la extracción A3 por ser demasiado baja la presión. Se opta en esta ocasión por dar apoyo con el vapor de AP proveniente del colector AP, como sucedía en el Escenario 4. De esta manera, los condensados pueden aportar hasta 3,6 MW, aportándose el resto desde el colector de alta presión (12 MW).

La situación operativa de este escenario se caracteriza por las siguiente distribución de caudales:

Situación operativa de para el escenario 6		
	Caudal [T/h]	Comentarios
Caudal vapor producido	100	Según medias diarias
Caudal vapor consumos propios del colector AP	1,08	Según medias diarias
Caudal vapor al colector de BP desde AP (consumos BP)	14,45	Según medias diarias
Caudal vapor a turbina 1	37,86	
Caudal extracción A4	0	Presión en A4 demasiado baja
Caudal extracción A3	0	Presión en A3 demasiado baja
Caudal vapor a turbina 2	31,68	Mínimo técnico + demanda DC
Caudal vapor a by-pass	0	
Caudal vapor a DC	21,68	Desde turbina 2
Caudal vapor nueva demanda 14 MW desde colector AP	14,94	Desde colector AP 12,6 MW

Tabla 4.12 Distribución de caudales de vapor en el escenario 6

En este último caso el caudal enviado a la turbina 1 es de 37,86 T/h y los autoconsumos de baja presión se suministran en este escenario desde el colector de alta presión.

Los valores asumidos específicos para este escenario son las siguientes:

Valores asumidos específicas para el escenario 6			
hcondensado turbinas	600,00	kJ/kg	Condensado de turbinas antes intercambiador nueva demanda
hcondensado	335,01	kJ/kg	Condensado de turbinas después intercambiador nueva demanda
hcondensado14MW	335,01	kJ/kg	Retorno a tanque del condensado del aporte AP a nueva demanda (12,6 MW)

Tabla 4.13 Valores asumidos para el escenario 6

De igual manera que en el apartado anterior, se entiende por los valores anteriores que se consigue aprovechar la energía del condensado de turbinas a través de un salto entálpico desde 600 kJ/kg hasta 335,1 kJ/kg. Se demuestra también que no existe suficiente caudal para suministrar los 14 MW adicionales y que es necesario recurrir a otras soluciones.

Las principales acciones necesarias a nivel conceptual a llevar a cabo en la planta para la implementación de este escenario son las siguientes:

- Derivación desde el retorno de condensados a tanque
- Instalación de un intercambiador agua-agua de 3,6 MW
- Derivación desde la tubería de conexión del colector AP al BP
- Instalación de un intercambiador vapor-agua de 11,9 MW

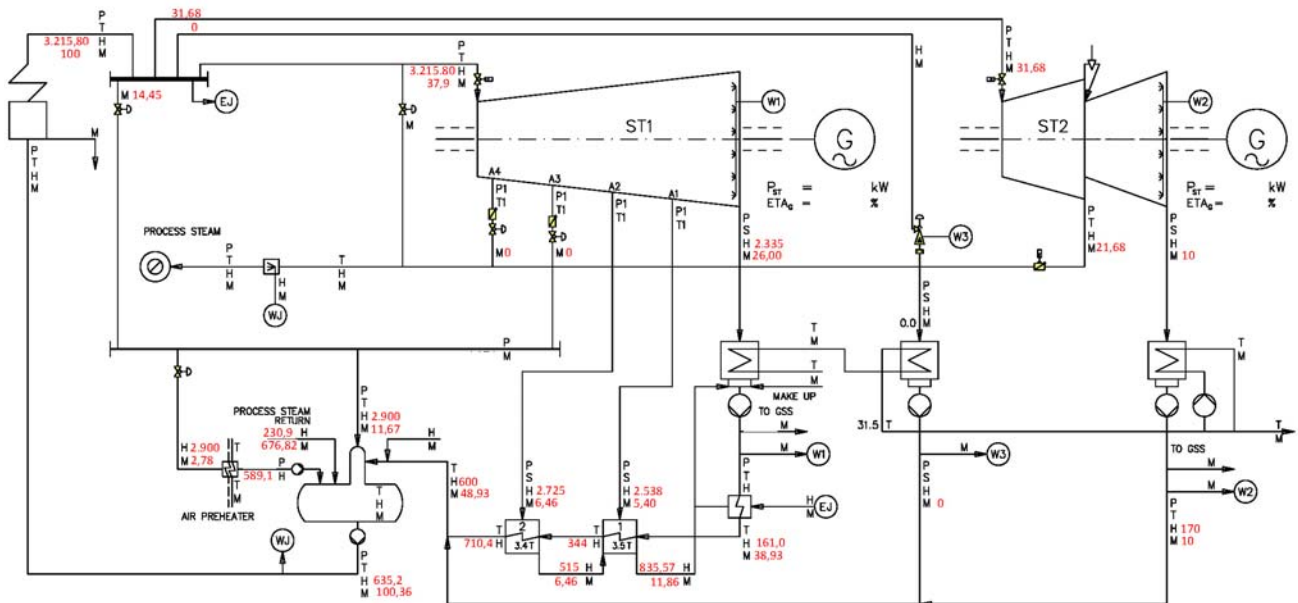


Figura 4.8 Esquema de funcionamiento de la planta en el escenario 6

5 RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados de los cinco escenarios estudiados. El estudio genera dos resultados para cada escenario, siendo el primero de ellos un precio de venta del vapor en función de cada tonelada vendida y el segundo el precio de venta en función de la energía asociada a esa cantidad de vapor.

En el estudio de los escenarios futuros aparece una segunda demanda neta de 14 MW (demanda bruta de 15,6 MW) que no es en forma de vapor sino de agua caliente. Es por ello por lo que se considera más correcta la presentación del precio de venta en función de la energía térmica suministrada frente a la opción de hacerlo en función de la masa de vapor entregada. No obstante, se ha transformado esa energía térmica en toneladas de vapor sobrecalentado equivalente a la presión de 40 bar.

De cara al cálculo de la energía producida, se considera un funcionamiento de 8.760 horas anuales de todos los sistemas estudiados. Como rendimiento eléctrico del alternador se toma un valor del 88,6%, valor promedio de los rendimientos a todos los regímenes de funcionamiento.

Se aconseja la consulta del anexo a esta memoria para la obtención de detalles sobre los algoritmos de cálculo utilizados y los balances de energía y masa realizados en cada uno de los elementos del ciclo.

5.1 Precios de venta de la electricidad

En relación a la venta de energía eléctrica, a continuación se incluye el precio de venta al mercado eléctrico. El valor mostrado responde a una media del precio de casación del mercado diario en el sistema español según información aparecida en el portal del *Operador del Mercado Ibérico de Electricidad* (OMIE).

Precio venta energía eléctrica	
Período	Ene-Dic 2015
Energía (€/MWh)	55

Tabla 5.1 Precio de venta de la energía eléctrica OMIE, Enero-Noviembre 2015

5.2 Escenario 1: Funcionamiento con 3 líneas

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	20,30 MW	9.778.413 €
Pel Turbina 2	2,08 MW	999.735 €
Pel Total	22,38 MW	10.778.148 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	24,13 MW	11.625.171 €
Pel Turbina 2 ref	2,575 MW	1.240.635 €
Pel Total ref	26,71 MW	12.865.806 €

Diferencia	4,33 MW	2.087.658 €
------------	---------	-------------

Vapor vendido	189.905 T vapor
Vapor vendido	131.400 MWh

Precio venta vapor	10,99 €/T vapor
Precio venta vapor	15,89 €/MWh

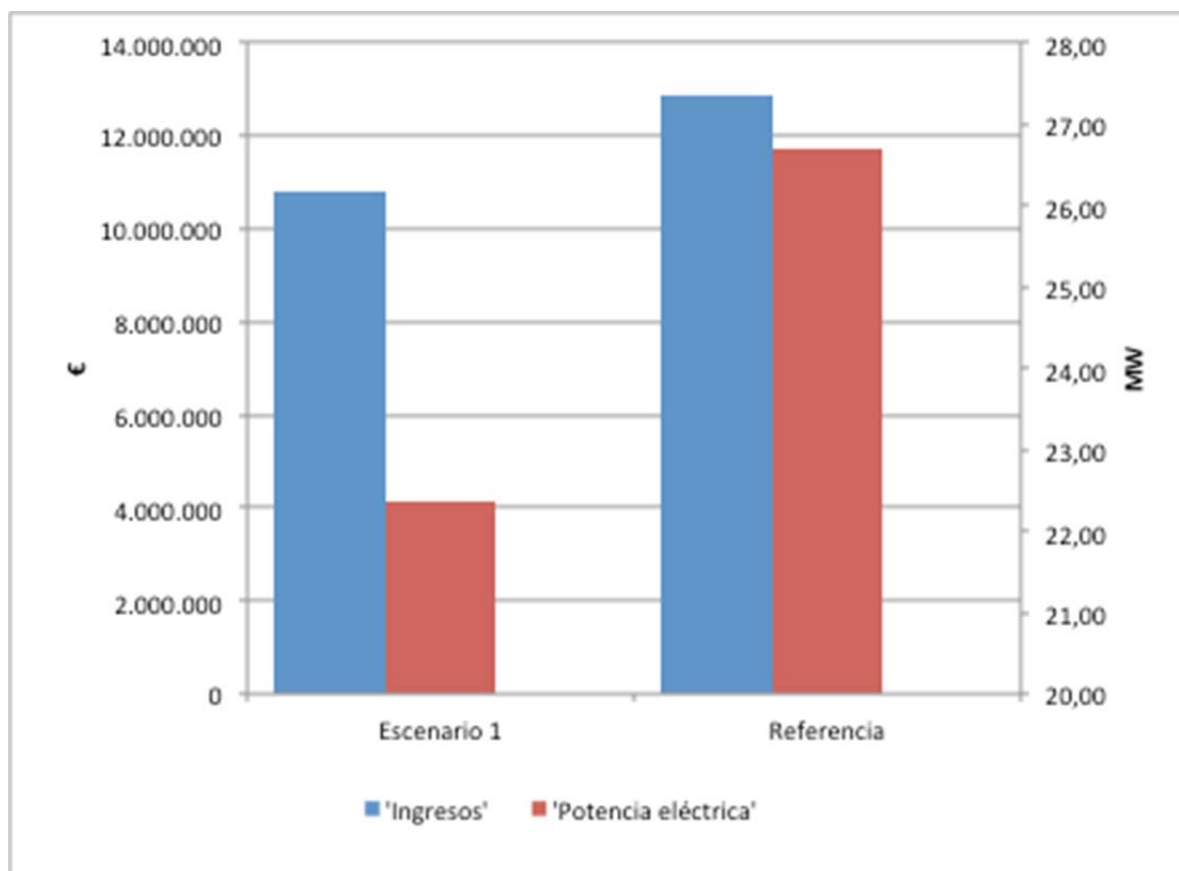


Figura 5.1 ESCENARIO 1 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{eléctrica}$

5.3 Escenario 2: Funcionamiento con 2 líneas

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	11,66 MW	5.615.381 €
Pel Turbina 2	2,075 MW	999.735 €
Pel Total	13,73 MW	6.615.116 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	19,39 MW	9.341.944 €
Pel Turbina 2 ref	0 MW	0 €
Pel Total ref	19,39 MW	9.341.944 €

Diferencia	5,66 MW	2.726.828 €
------------	---------	-------------

Vapor vendido	189.905 T vapor
Vapor vendido	131.400 MWh

Precio venta vapor	14,36 €/T vapor
Precio venta vapor	20,75 €/MWh

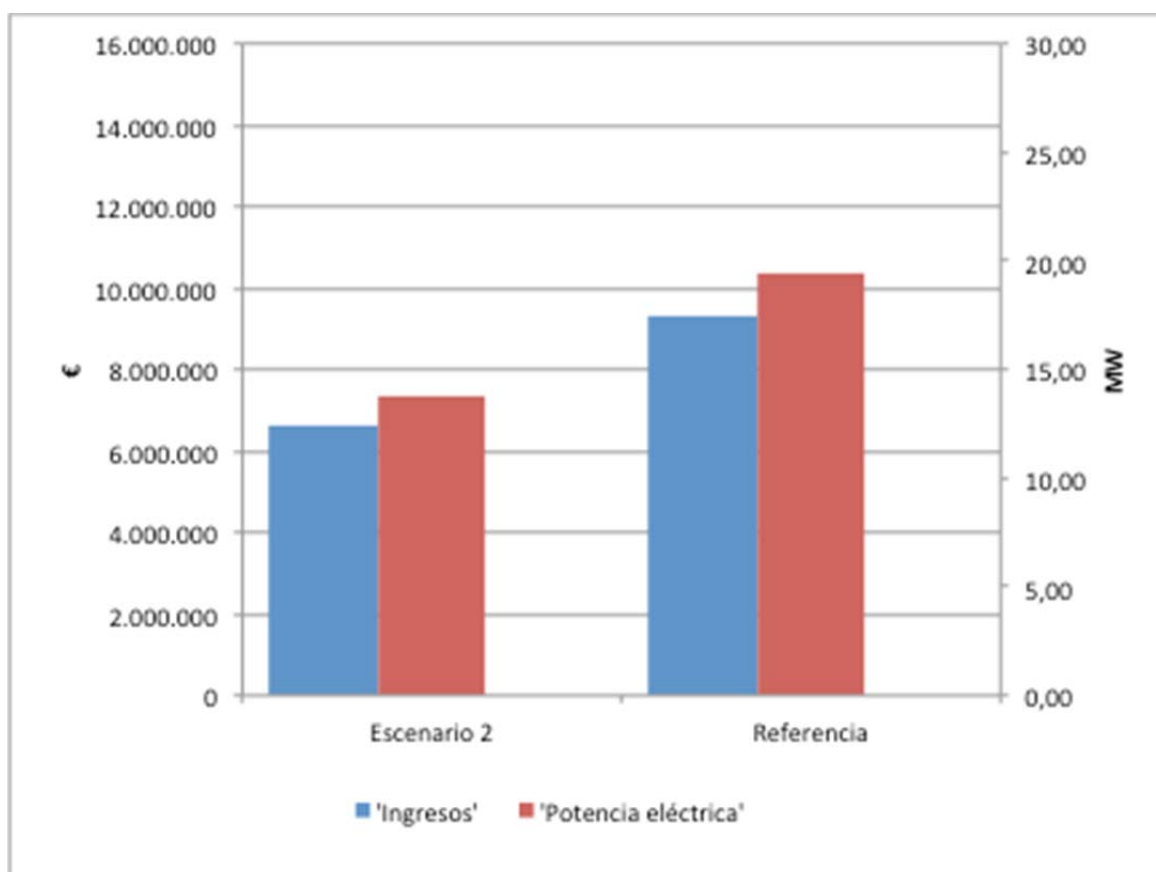


Figura 5.2 ESCENARIO 2 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{el\acute{e}ctrica}$

5.4 Escenario 3: Funcionamiento con 3 líneas (CASO A)

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	16,85 MW	8.120.332 €
Pel Turbina 2	2,075 MW	999.735 €
Pel Total	18,93 MW	9.120.067 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	24,13 MW	11.625.171 €
Pel Turbina 2 ref	2,575 MW	1.240.635 €
Pel Total ref	26,71 MW	12.865.806 €

Diferencia	7,77 MW	3.745.739 €
------------	---------	-------------

Vapor vendido	360.192 T vapor
Vapor vendido	297.840 MWh

Precio venta vapor	10,40 €/T vapor
Precio venta vapor	14,74 €/MWh

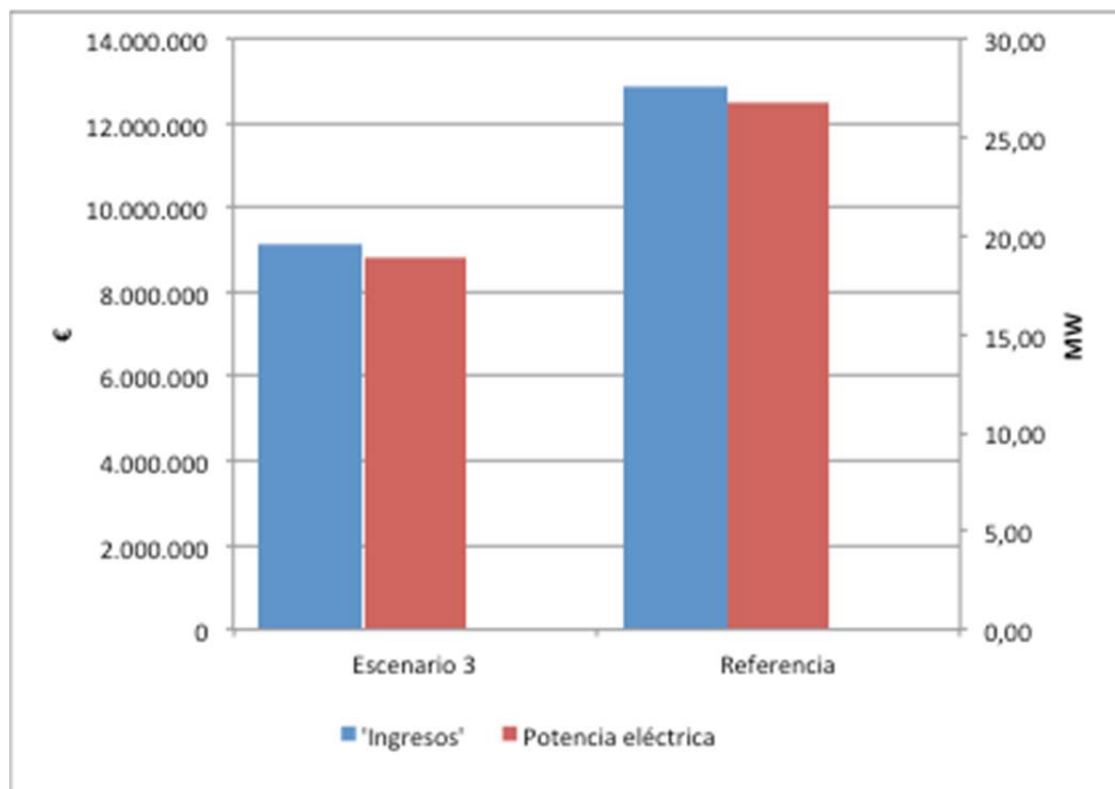


Figura 5.3 ESCENARIO 3 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{eléctrica}$

5.5 Escenario 4: Funcionamiento con 2 líneas (CASO A)

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	7,36 MW	3.546.915 €
Pel Turbina 2	2,075 MW	999.735 €
Pel Total	8,37 MW	4.546.650 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	19,39 MW	9.341.944 €
Pel Turbina 2 ref	0 MW	0 €
Pel Total ref	19,39 MW	9.341.944 €

Diferencia	9,95 MW	4.795.294 €
------------	---------	-------------

Vapor vendido	360.192 T vapor
Vapor vendido	297.840 MWh

Precio venta vapor	13,31 €/T vapor
Precio venta vapor	18,88 €/MWh

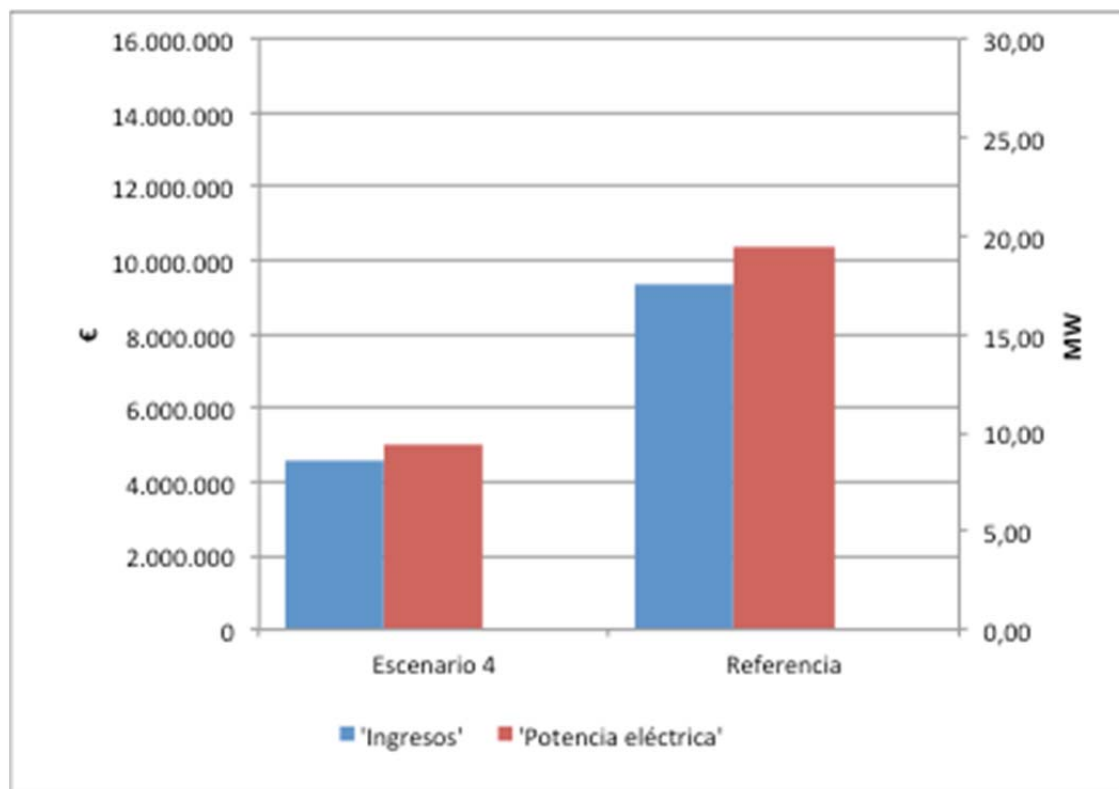


Figura 5.4 ESCENARIO 4 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{el\acute{e}ctrica}$

5.6 Escenario 5: Funcionamiento con 3 líneas (CASO B)

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	17,22 MW	8.297.279 €
Pel Turbina 2	2,075 MW	999.735 €
Pel Total	19,30 MW	9.297.014 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	24,13 MW	11.625.171 €
Pel Turbina 2 ref	2,575 MW	1.240.635 €
Pel Total ref	26,71 MW	12.865.806 €

Diferencia	7,41 MW	3.358.792 €
------------	---------	-------------

Vapor vendido	360.192 T vapor
Vapor vendido	297.840 MWh

Precio venta vapor	9,91 €/T vapor
Precio venta vapor	14,05 €/MWh

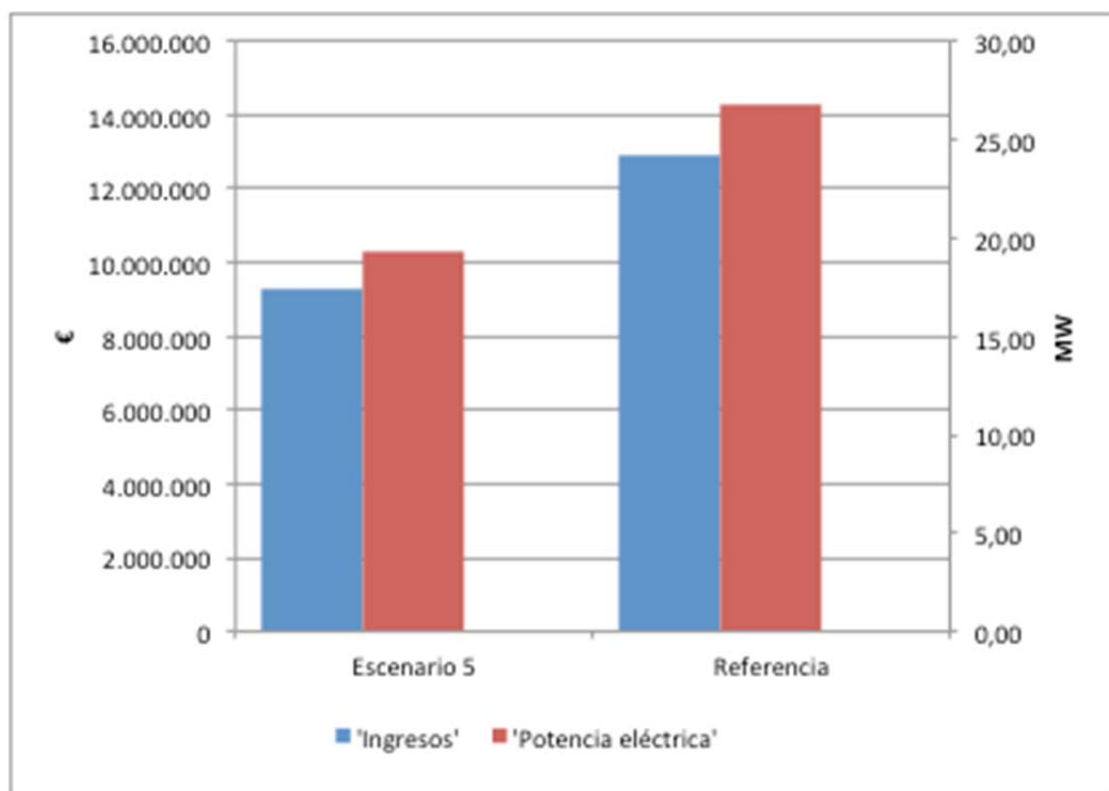


Figura 5.5 ESCENARIO 5 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{eléctrica}$

5.7 Escenario 6: Funcionamiento con 2 líneas (CASO B)

Potencia eléctrica		Ingresos venta electricidad
Pel Turbina 1	7,31 MW	3.523.450 €
Pel Turbina 2	2,075 MW	999.735 €
Pel Total	9,39 MW	4.523.185 €

Potencia eléctrica referencia		Ingresos venta electricidad referencia
Pel Turbina 1 ref	19,39 MW	9.341.944 €
Pel Turbina 2 ref	0 MW	0 €
Pel Total ref	19,39 MW	9.341.944 €

Diferencia	10,00 MW	4.818.759 €
------------	----------	-------------

Vapor vendido	360.192 T vapor
Vapor vendido	297.840 MWh

Precio venta vapor	13,38 €/T vapor
Precio venta vapor	18,97 €/MWh

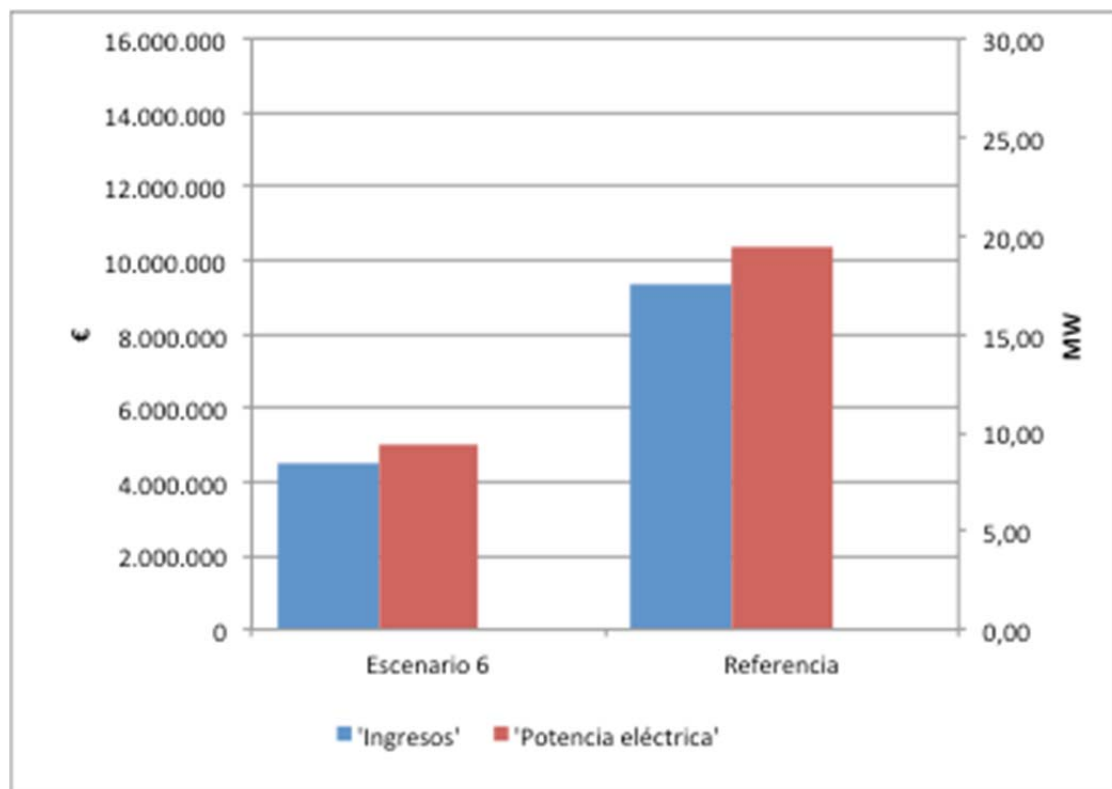


Figura 5.6 ESCENARIO 6 vs Referencia: Ingresos por la venta de electricidad y $P_{el\acute{e}ctrica}$

5.8 Comparativa de resultados

A continuación se presenta una figura comparativa que ilustra los resultados obtenidos en el estudio de los seis escenarios estudiados para el precio del vapor, tanto por unidad producida (€/T) como por energía producida (€/MWh).

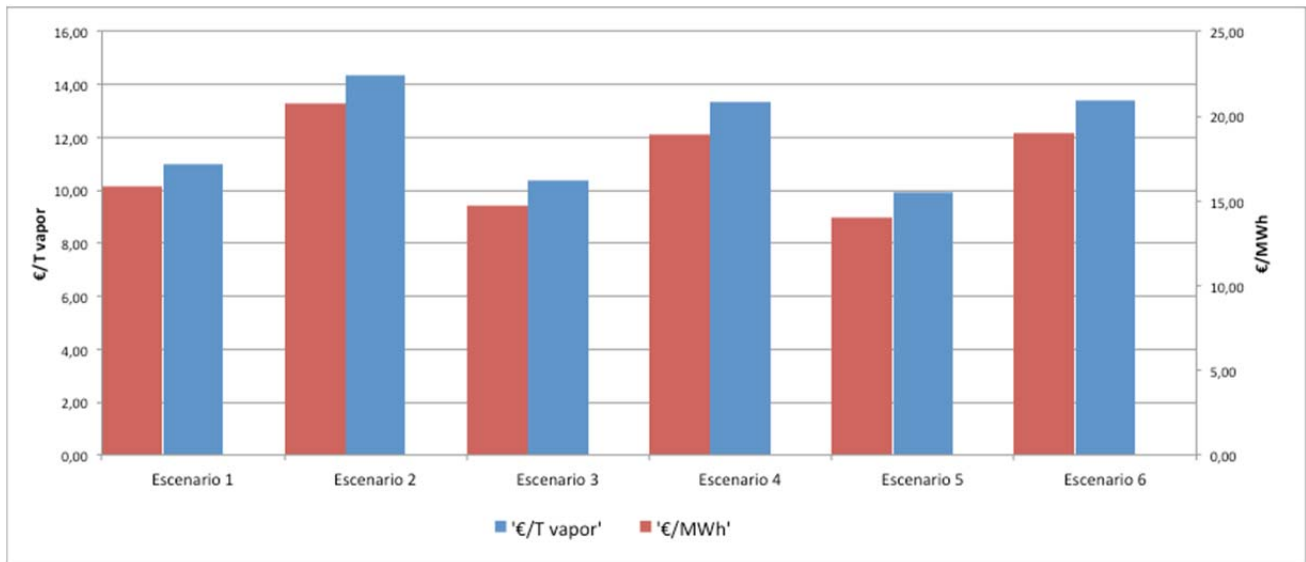


Figura 5.7 Comparativa del precio del vapor resultante en los diferentes escenarios considerados, por Tonelada (€/T) y por unidad de energía producida (€/MWh)

Escenarios	Valores operativos Vapor			Precio del Vapor	
	Prod. (T/h)	Terceros S.A. (T/h)	Incremento de demanda (MW)	€/T	€/MWh
Escenario 1	140	21,68	0	10,99	15,89
Escenario 3			14 MW (A3/A4)	10,40	14,74
Escenario 5			14 MW (retorno cond./A3)	9,91	14,05
Escenario 2	100	21,68	0	14,36	20,75
Escenario 4			14 MW (AP)	13,31	18,88
Escenario 6			14 MW (retorno cond/AP)	13,38	18,97

Tabla 5.2 Tabla-resumen de precios del vapor según escenario considerado

6 CONCLUSIONES

Considerando como referencia para cada uno de los casos la situación en la que se obtiene mayor producción de energía eléctrica, y bajo el criterio de maximizar los ingresos independientemente de la situación de funcionamiento en la que se encuentre la Planta, se determina que el precio de venta del vapor en la situación operativa actual trabajando con las tres líneas en funcionamiento debería ser de 15,89 €/MWh (10,99 €/T), mientras que trabajando solamente con dos líneas operativas dicho precio debería ser de 20,75 €/MWh (14,36 €/T).

A la vista de los resultados obtenidos para la situación actual, se ha comprobado que el precio de venta de la electricidad en las situaciones en que sólo existen dos líneas en funcionamiento ha de ser mayor que cuando la planta funciona con las tres líneas. Esto sucede, en primer lugar, porque el vapor producido por dos líneas es inferior al producido por tres de ellas y ello provoca que cada tonelada de vapor se deba vender a un precio mayor para recuperar la diferencia económica respecto de la situación de referencia. En segundo lugar, al ser el caudal de vapor enviado a turbina 1 menor, técnicamente no es posible realizar extracción de vapor por el punto A3 – para alimentar el colector de baja presión – y, consecuentemente, se ha de alimentar el colector de baja presión directamente desde el colector de alta presión, lo que redunda en aún menos caudal disponible para enviar a turbina.

En cuanto a situaciones futuras, se ha complementado los escenarios planteados en base a las condiciones que los definían. En algún caso se ha propuesto soluciones alternativas. A modo de resumen cabe especificar que:

- a) Suministrar la demanda futura de 14 MW desde las extracciones A3 y A4 solamente es posible en las situaciones operativas de tres líneas. En situaciones de dos líneas en funcionamiento no es posible suministrar la nueva demanda desde las extracciones A3 y A4, habiéndose estudiado como alternativa el suministro directo desde el colector de alta presión.
- b) El suministro de la demanda adicional futura desde el retorno de condensados no es posible, en ningún caso, suministrarla totalmente mediante este flujo. Como alternativa se ha propuesto apoyar este suministro desde la extracción A3 en las situaciones operativas con tres líneas, y desde el colector de alta presión con dos líneas.

Respecto de los precios de venta del vapor para las situaciones futuras con tres líneas en funcionamiento son menores que para el caso de la situación actual equivalente, estando situados en 14,74 €/MWh (10,40 €/T) para el suministro desde las extracciones A3 y A4 – escenario 3 – y de 14,05 €/MWh (9,91 €/T) para el suministro compartido entre el retorno de condensados y la extracción A3 – solución alternativa escenario 5 –. La ventaja de la situación descrita en el escenario 5 respecto del 3 recae en el hecho de que la producción eléctrica en el escenario 5 es ligeramente mayor.

Por otro lado, referente a los precios de venta del vapor para las situaciones futuras con dos líneas cabe decir que son menores que el de la situación actual equivalente. El precio de venta del vapor en ambos escenarios muy parecido, estando situado en 18,88 €/MWh (13,31 €/T) para el escenario 4 y en 18,97 €/MWh (13,38 €/T) para el escenario 6. Esto indica que, bajo las hipótesis asumidas, es indiferente desde donde se suministre esta demanda adicional. Las situaciones que describen los

escenarios 4 y 6 son muy similares siendo la única diferencia la temperatura de entrada de los condensados al tanque de retorno. En el escenario 6 la temperatura es menor, debido a la demanda de 14 MW, debiéndose aportar más vapor al tanque para mantener su temperatura. Este vapor adicional es el que deja de enviarse a la turbina, no obstante en el escenario 4 deja de enviarse a la turbina el vapor necesario para la nueva demanda, que en este caso se suministra todo desde el colector AP.

Se demuestra, por tanto, que sin entrar a valorar otros aspectos que pudieran influir, como por ejemplo la inversión necesaria para implementar esta opción, sería recomendable optar por suministrar la nueva demanda mediante el retorno de condensados (con apoyo de la extracción A3) cuando funcionan tres líneas y se podría elegir desde donde hacerlo cuando funcionan solamente dos líneas, dado que no existe diferencia.

Es necesario recordar que los resultados obtenidos son la consecuencia de los valores asumidos al inicio del estudio. Por tanto, se entiende que cualquier cambio en las estimaciones asumidas provocará cambios en dichos resultados, si bien se considera que el orden de magnitud no debería alterarse significativamente.

Cabe destacar que para la implementación de los escenarios descritos en el presente estudio es necesario asumir inversiones, tanto en la instalación de nuevos equipos como en la ejecución de modificaciones sobre las instalaciones existentes. En el alcance de este estudio, en ningún caso se han tenido en cuenta los costes que dichas inversiones supondrían para la planta, así como tampoco los efectos de afrontar dichos costes sobre el precio de venta del vapor y/o los períodos de retorno de la inversión asociada.

Finalmente, la continuación lógica del presente estudio sería la programación de un software que utilizando como variables de entrada la producción de vapor, el número de líneas en funcionamiento, demandas, precio venta al mercado eléctrico de la electricidad, etc, calculara “on line” el precio de venta del vapor diariamente. Se deja para una posterior fase del proyecto el desarrollo de este software.

7 BIBLIOGRAFÍA

A continuación se citan las fuentes consultadas para la realización del trabajo:

- Tablas de vapor
<<http://www.spiraxsarco.com/resources/pages/steam-tables.aspx>>
- Información del mercado diario de energía
<<http://www.omie.es/inicio/informacion-del-mercado>> y
<<http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>>
- Pedro Fernández Diez. Apuntes de “Turbinas de vapor”. Consultables en
<<http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=11>>
- Pedro Fernández Diez. Apuntes de “Ciclos de máquinas térmicas”. Consultables en
<<http://files.pfernandezdiez.es/Termodinamica/PDFs/12Termod.pdf>>
- Información de los fabricantes de los equipos presentes en la planta.

ANEXO DE CÁLCULO

Consultar el documento “Anexo”, adjunto a la presente memoria.

RESUMEN

La confección del presente estudio responde a un encargo por parte de una planta de incineración de residuos para la determinación de un valor económico para el vapor suministrado a una tercera empresa. Este vapor representa su segundo output energético en importancia.

Se han planteado diversos escenarios de producción para evaluar las distintas situaciones de demanda de energía térmica tanto actuales como futuras.

Para la determinación del valor económico de la energía térmica vendida se ha tomado una situación de referencia y se han comparado con ésta todos los escenarios planteados, obteniéndose un valor para cada escenario. Este valor representa la cantidad a partir de la cual para la planta es económicamente viable vender este vapor en lugar de utilizarlo para otras de las actividades de la planta.