

## 4. INSTALACIÓN DE OXICOMBUSTIÓN

### 4.1. Descripción general de la instalación

#### 4.1.1. Objeto

En este apartado se describe la ingeniería básica de la instalación experimental de oxicomcombustión. El diseño ha sido realizado de manera que se obtenga unos rangos de operación amplios que permitan cubrir todos los posibles modos de operación, tanto en combustión convencional como en oxicomcombustión parcial y total.

La instalación pretende servir como una herramienta de investigación en el desarrollo experimental y el análisis de viabilidad de un nuevo proceso de captura de CO<sub>2</sub> para centrales térmicas de carbón basado en la operación en condiciones de oxicomcombustión parcial, utilizando como comburente aire enriquecido en O<sub>2</sub>, en combinación con un proceso de separación de CO<sub>2</sub> en postcombustión mediante absorción química regenerativa.

La instalación de captura de CO<sub>2</sub> ha sido concebida para trabajar con distintos grados de oxicomcombustión, desde aire atmosférico (combustión convencional) hasta un grado de oxicomcombustión del 80% (mezcla de aire enriquecido hasta una concentración de O<sub>2</sub> del 80% diluido posteriormente hasta el 30% con gases de combustión recirculados). Al emplear aire enriquecido en la combustión del combustible, se provoca un aumento en la temperatura de llama que puede llegar a ser inadmisibles en hogares de caldera convencionales, diseñados para trabajar exclusivamente con aire. Para minimizar los riesgos de operación es necesario realizar una planificación y un diseño adecuados de los modos de operación de la planta y de los tránsitos de un modo a otro. Debe tenerse en cuenta la dificultad de trabajar con un comburente enriquecido en O<sub>2</sub> debido al peligro de formación de atmósferas fácilmente inflamables y a la necesidad de disponer de un tanque de almacenamiento de O<sub>2</sub>. La ubicación del

punto de inyección de O<sub>2</sub> en la corriente de aire de entrada a la caldera es crítica para garantizar la seguridad en la operación de la instalación.

La planificación de pruebas experimentales debe sincronizarse de forma óptima con la operatividad y flexibilidad de la planta, permitiendo conocer las actuaciones necesarias, limitaciones de operación de la caldera, manejabilidad, tiempos de respuesta y actuaciones en caso de alarma o problema de operación.

#### 4.1.2. Bases de diseño

Como base de diseño principal y dado el carácter y el objetivo de la instalación, se ha optado por dotar a la planta piloto de la máxima flexibilidad en relación a la operación de oxicomcombustión parcial con aire enriquecido y aquellas dimensiones que permitan una mayor fiabilidad en el proceso de escalado de resultados.

#### **Composición y condiciones operativas de los gases de combustión a simular**

Mezclas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> cuyas proporciones se correspondan con la salida de una unidad WFGD de gases procedentes de oxicomcombustión parcial de carbón antracítico nacional (Cuenca del Bierzo) con la siguiente composición expresada como porcentaje en peso:

Tabla 4.1. Caracterización carbón antracita El Bierzo

	Análisis Inmediato %másico (b.s.)	Análisis Inmediato %molar (b.s.)	Análisis Elemental	
<b>Ceniza</b>	14,87	-	<b>Humedad</b>	9,95
<b>C</b>	72,40	56,98	<b>Cenizas</b>	13,52
<b>H</b>	4,02	37,97	<b>Volátiles</b>	29,72
<b>N</b>	1,60	1,08	<b>Carbono Fijo</b>	47,71
<b>S</b>	0,81	0,24	<b>Poder calorífico Inferior</b>	
<b>O</b>	6,31	3,73		27,21 MJ/kg

En la Tabla 4.2 se recogen las diferentes composiciones a la salida de la WFGD, gases saturados a 50 °C (40 - 60°C) y presión atmosférica, para diferentes grados de oxicomcombustión. El balance se ha resuelto para 3 % v/v de exceso de O<sub>2</sub> en la corriente de salida de la caldera. Así mismo, se han tomado valores de O<sub>2</sub> en la corriente de comburente primario que van desde el 21 % de la combustión convencional hasta el 100 % de la oxicomcombustión pura (no se han tenido en cuenta los porcentajes en NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>):

**Tabla 4.2 Composición gases de combustión de antracita a la salida de la WFGD**

ENR (% v/v O <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O (% v/v)	O <sub>2</sub> (% v/v)	CO <sub>2</sub> (% v/v)	N <sub>2</sub> (% v/v)	Q gas (Nm <sup>3</sup> /h)
0.21	12	3	15	70	669
0.30	12	3	22	63	443
0.40	12	3	31	54	319
0.50	12	3	39	46	250
0.60	12	3	48	37	204
0.70	12	3	57	28	173
0.80	12	3	66	19	149
0.90	12	3	76	9	130
1.00	12	3	85	0	116

Tomando como límite superior un enriquecimiento del 60% v/v en O<sub>2</sub>, se obtiene un porcentaje de CO<sub>2</sub> máximo en los gases de salida de la desulfuración de 48 %. En este sentido, se toma el 50 % v/v como contenido máximo en CO<sub>2</sub> de la corriente de entrada al sistema de captura.

### **Sistema de generación de gases de combustión**

Para simular las composiciones recogidas en la Tabla 4.2 se emplean los gases de combustión de una caldera de gasoil enfriados hasta 50 °C. Las composiciones del

gasoil y de los gases de combustión obtenidas a la salida del enfriador/condensador, para diferentes grados de enriquecimiento en oxígeno, se presentan en las Tablas 4.3 y 4.4 respectivamente:

**Tabla 4.3. Composición del gasoil**

Componente	% p/p
H	13
C	87

**Tabla 4.4. Composición gases de combustión de gasoil tras el enfriador/condensador (50°C y 3,0 % v/v de oxígeno en salida de la caldera)**

ENR (% v/v O <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O (% v/v)	O <sub>2</sub> (% v/v)	CO <sub>2</sub> (% v/v)	N <sub>2</sub> (% v/v)
0.21	10	3	12	75
0.30	12	3	18	67
0.40	12	3	25	59
0.50	12	4	33	51
0.60	12	4	41	43
0.70	12	4	51	33
0.80	12	4	61	23

Los resultados muestran que para un mismo grado de enriquecimiento en O<sub>2</sub>, el porcentaje en CO<sub>2</sub> de los gases de salida es aproximadamente 10 puntos inferior. Para alcanzar el 50 % v/v fijado como máximo se requiere de un enriquecimiento del 70 % v/v. Teniendo en cuenta esta diferencia, para el diseño de la instalación de generación de gases se toma un rango de enriquecimiento que comprenda el rango de composiciones de salida de la WFGD. En este sentido, el límite superior de diseño se sitúa en el 80 % v/v de enriquecimiento y el límite inferior en el 21 % v/v (combustión convencional con aire, valor de referencia).

### 4.1.3. Descripción del proceso

La Figura 4.1 muestra un esquema representativo de la instalación de oxicomcombustión:

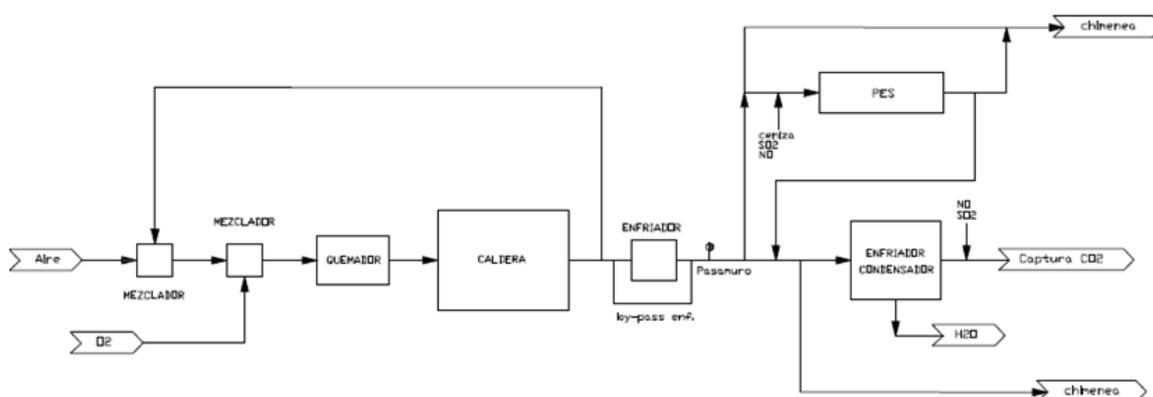


Figura 4.1. Esquema instalación de oxicomcombustión. Fuente: Dpto. Ingeniería Química y Ambiental

La instalación permite suministrar gases a otras instalaciones experimentales dentro de los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental sita en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, como son la instalación de filtrado de gases a alta temperatura, el precipitador electrostático de plasma no térmico o las columnas de absorción química de CO<sub>2</sub> mediante sorbentes alcalinos.

La instalación experimental proporciona al sistema de captura de CO<sub>2</sub> entre 250 y 350 Nm<sup>3</sup>/h de gases de combustión cuyos porcentajes en O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y condiciones de presión y temperatura simulan los gases de combustión de carbón nacional con aire enriquecido (desde 21 hasta 60 % v/v O<sub>2</sub>) aguas abajo de una WFGD convencional, tal y como se indica en las bases de diseño.

La caldera de oxicomcombustión utiliza gasoil como combustible. El quemador inyecta el gasoil dentro del hogar mediante aire comprimido a 4 barg que puede

variarse manualmente mediante válvulas de aguja según el consumo de combustible impuesto en cada modo de operación.

El comburente puede estar formado por tres corrientes distintas en función del modo de oxicomcombustión:

- ➡ OXI 21% (combustión convencional): El comburente es únicamente aire
- ➡ OXI 30%: El comburente es aire enriquecido con  $O_2$  procedente del tanque de almacenamiento sito en los laboratorios de la Escuela Superior de Ingenieros hasta alcanzar la concentración deseada.
- ➡ OXI 40-80%: Debido a la limitación en la concentración de  $O_2$  del comburente a la entrada del quemador de la caldera, se debe diluir el aire enriquecido utilizado (con la concentración correspondiente al grado de oxicomcombustión) con gases de combustión recirculados (RFG)

La regulación de los distintos aportes de aire,  $O_2$  y gases recirculados se realiza mediante válvulas de control en cada una de las líneas y con variadores de frecuencia en las soplantes del sistema (S-1, S-4 y S-3)

La mezcla inyectada por el quemador reacciona en el interior del hogar produciendo una llama que radia calor hacia las paredes de tubos que rodean al hogar. El agua que circula por los tubos de caldera entra a unos  $60\text{ }^\circ\text{C}$  –  $70\text{ }^\circ\text{C}$  y abandona el hogar a  $90\text{ }^\circ\text{C}$ . Posteriormente, el agua se hace pasar por un intercambiador de placas (I-1) que enfría el agua hasta las condiciones requeridas a la entrada de caldera. Este sistema compone el circuito primario de refrigeración.

Para realizar el intercambio de calor en I-1, se utiliza agua procedente de una torre de refrigeración (T-1) como fluido frío. La temperatura de entrada en el intercambiador es de  $30\text{ }^\circ\text{C}$  –  $35\text{ }^\circ\text{C}$  y se calienta hasta  $55\text{ }^\circ\text{C}$ .

Los gases de combustión generados son extraídos de la caldera gracias a la depresión generada por la soplante (S-2). En función del modo de operación en el que

se trabaje, se recirculará o no parte de los mismos. La temperatura de los gases a la salida de caldera es de 250 °C. El intercambiador (I-2) se encarga de enfriar los gases de combustión hasta 150 °C, utilizando agua procedente de la torre de refrigeración.

Los gases de combustión a 150 °C pueden ser utilizados como gas de proceso para la planta piloto de electrofiltración o bien, ser enfriados nuevamente hasta 50 °C para introducirse en la columna de absorción mediante el enfriador / condensador (E-1).

## 4.2. Ingeniería Básica

En el siguiente apartado se hace una descripción exhaustiva de la ingeniería básica de la instalación, describiendo las partes principales que la componen, el diseño de equipos principales, valvulería, instrumentación y refrigeración de la instalación experimental.

### 4.2.1. Diagrama de Flujo

En el diagrama de flujo (Figura 4.2) se recoge un esquema simplificado de las soluciones adoptadas para satisfacer los requerimientos solicitados para la instalación experimental. Este esquema ha servido como base para el posterior desarrollo del diagrama de procesos.

En este diagrama de flujo se identifican cada una de las líneas que componen la instalación y se han recogido los lazos de control diseñados para la operación de la planta. Estos lazos han sido ideados con el fin de proporcionar un amplio rango de operación que cubra el máximo de modos de operación posibles y que garantice la seguridad tanto en la operación como en la transición de combustión convencional a oxicomcombustión.

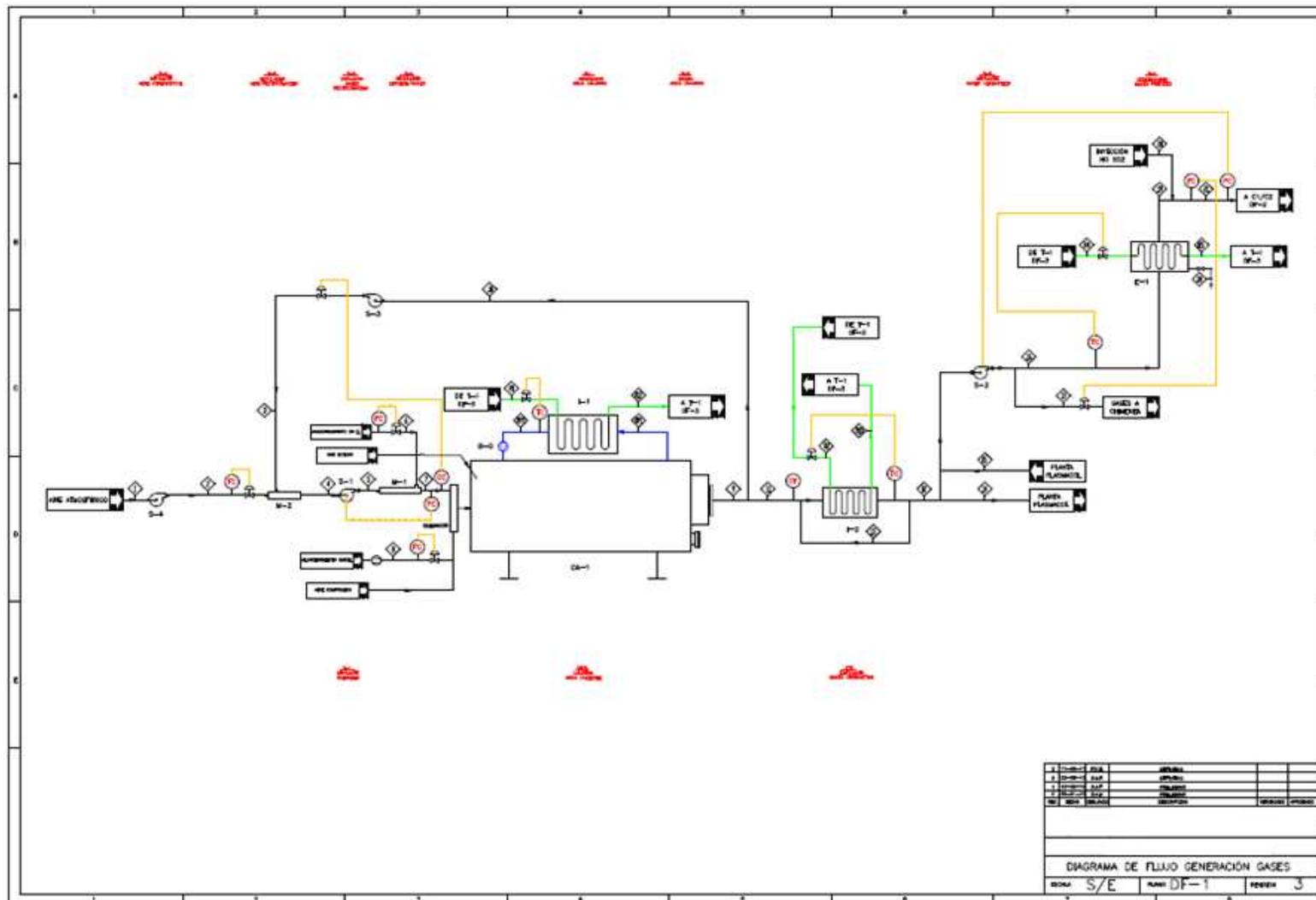


Figura 4.2. Diagrama de flujo instalación experimental de oxicomcombustión. Fuente: Dpto. Ingeniería Química y Ambiental

### 4.2.2. Balances de Materia y Energía

Los balances de materia y energía han sido calculados mediante la simulación del diagrama de flujo de la instalación representado en la Figura 4.2. Se ha utilizado el software Aspen Plus™. La Figura 4.3 muestra el diagrama de procesos (*flowsheet*) de la instalación de oxicomcombustión objeto de la simulación. El caso a representa la opción de combustión con aire y el caso b la opción de oxicomcombustión para cada rango de operación simulado:

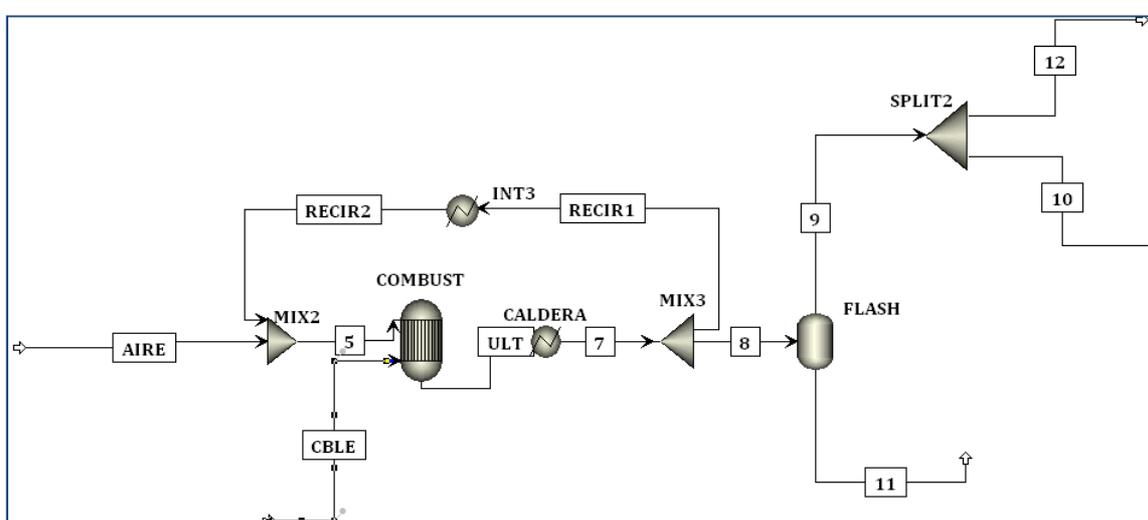


Figura 4.3a. Simulación modo combustión convencional. Fuente: Dpto. Ingeniería Química y Ambiental

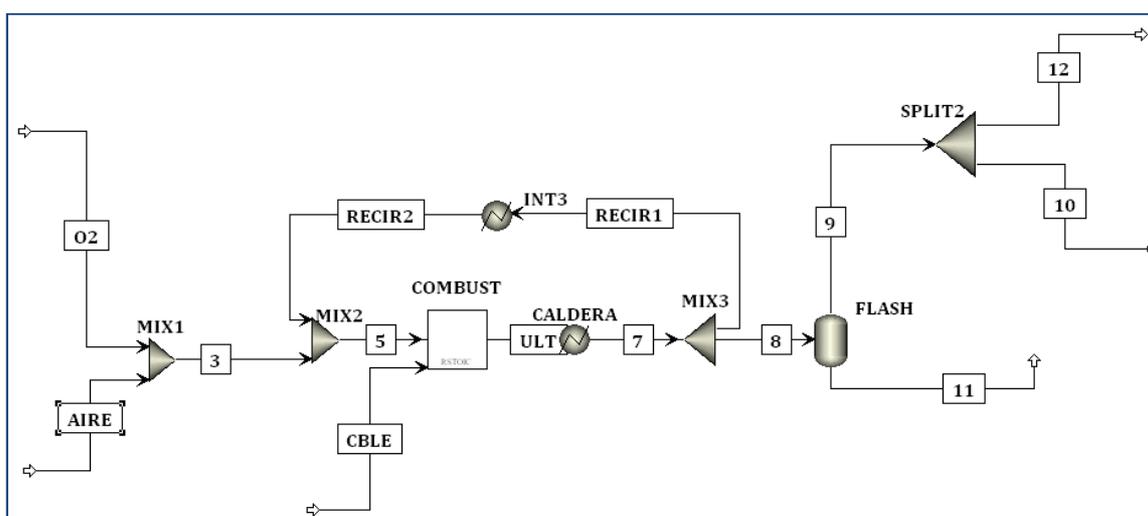


Figura 4.3b. Simulación modo oxicomcombustión. Fuente: Dpto. Ingeniería Química y Ambiental

La base de cálculo para el diseño para el sistema de generación de gases ha consistido en obtener un caudal nominal de  $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$  de gas de proceso.

Las especificaciones técnicas necesarias para asegurar un correcto funcionamiento del sistema, cumplir con los requerimientos impuestos por los materiales utilizados y garantizar unas condiciones de seguridad en operación son las siguientes:

- La composición en  $\text{O}_2$  del comburente a la entrada de caldera (corriente  $\text{O}_2$  del diagrama de flujo) no puede exceder del 30% en volumen para evitar temperaturas excesivas en el hogar y requerimientos especiales en cuanto a los materiales de los conductos de entrada al quemador. Esta composición es regulada mediante el caudal de gases recirculados.
- La temperatura del comburente a la entrada de caldera no puede exceder de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esta limitación es impuesta por las condiciones operativas de la soplante del quemador. En este caso, la temperatura del comburente es regulada mediante el control de la temperatura de los gases recirculados.
- Los gases de combustión son enfriados hasta una temperatura de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  debido a las condiciones de operación de la torre de absorción de  $\text{CO}_2$ .
- Los caudales de combustible empleados en los balances son los mínimos necesarios para no vehicular gases de combustión por chimenea.

El grado de oxicomcombustión es definido en función de la composición del aire enriquecido utilizado (corriente aire del diagrama de flujo). Por ejemplo, una oxicomcombustión del 40% implica que la corriente de aire enriquecido tiene una composición del 40% en volumen de  $\text{O}_2$ . Esta corriente se obtiene mediante el aporte necesario de  $\text{O}_2$  al aire utilizado hasta alcanzar la composición en  $\text{O}_2$  deseada.

Se han simulado un total de 5 casos, en los que se cubre todo el rango de operación requerido. El caso nominal se define utilizando aire como comburente. Los caudales máximos son reflejados en los balances de materia para un caudal de gas de proceso de 350 Nm<sup>3</sup>/h en oxicomcombustión al 80% y 600 Nm<sup>3</sup>/h de combustión con aire. Los caudales mínimos se obtienen para los casos donde se requiere un caudal de 250 Nm<sup>3</sup>/h en oxicomcombustión al 30% y al 40%.

Los casos resueltos se recogen en la Tabla 4.5, desde combustión convencional con aire hasta oxicomcombustión parcial hasta 80%. Las Tablas que se adjuntan a continuación (Tablas 4.5 – 4.10) muestran los balances de materia y energía de las líneas principales de proceso recogidas en el diagrama de flujo.

Tabla 4.5. Casos simulados

Caso	1	2	3	4	5
Comburente	Aire	Aire	Aire Enr. 30%	Aire Enr. 40%	Aire Enr. 80%
Caudal de gases generado (Nm <sup>3</sup> /h)	300	600	300	300	350

Tabla 4.6 – 4.15. Balances de materia y energía

	<b>BALANCE DE MATERIA</b>		300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil Combustión convencional		Nº CASO: 1 REVISIÓN: 0 FECHA: 12/11/11 ELAB:      APR: HOJA: 1 DE 2	
Nº de corriente	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Descripción	Entrada S-4	Salida S-4 Aire	Salida S-3	Entrada S-1	Salida S-1 Gas	Almacenamiento O <sub>2</sub>
Fluido	Aire Atmosférico	Atmosférico	Gas Recirculación	Gas Comburente	Comburente	O <sub>2</sub>
Fase	G	G	G	G	G	G
Caudal	kg/h	kg/h	-	kg/h	kg/h	-
Temperatura	°C	°C	-	°C	°C	-
Presión	bar	bar	-	bar	bar	-
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	-
Composición gas/líquido	kg/h	kg/h				
CO <sub>2</sub>	0	0	-	0	0	-
H <sub>2</sub> O	0	0	-	0	0	-
N <sub>2</sub>	79	79	-	79	79	-
O <sub>2</sub>	21	21	-	21	21	-
Nº de corriente	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Descripción	Entrada Caldera	Combustible	Salida gases caldera	Gas Recirculación	Entrada I-2	Salida I-2
Fluido	Gas Comburente	Gasoil	Gas Combustión	Gas Combustión	Gas Proceso	Gas Proceso
Fase	G	L	G	G	G	G
Caudal	kg/h	kg/h	kg/h	-	kg/h	kg/h
Temperatura	°C	°C	°C	-	°C	°C
Presión	bar	bar	bar	-	bar	bar
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
Composición gas/líquido	kg/h					
CO <sub>2</sub>	0	-	11	-	11	11
H <sub>2</sub> O	0	-	8	-	8	8
N <sub>2</sub>	79	-	76	-	76	76
O <sub>2</sub>	21	-	5	-	5	5

		<b>BALANCE DE MATERIA</b>					
		300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil Combustión convencional		<b>Nº DE CASO: 1</b> <b>REVISIÓN: 0</b> <b>FECHA: 12/11/11</b>  <b>ELAB:        APR:</b> <b>HOJA: 2 DE 2</b>			
<b>Nº de corriente</b>		<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Descripción		By-pass I-2	Entrada Plasmacol	Salida Plasmacol	Salida S-2	Chimenea	Purga E-1
Fluido		Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas a Chimenea	Agua
Fase		G	G	G	G	G	L
Caudal                      kg/h		-	-	-	392	-	-
Temperatura                °C		-	-	-	150	-	-
Presión                      bar		-	-	-	1.0	-	-
Caudal fase gas/vapor    Nm <sup>3</sup> /h		-	-	-	392.00	-	-
Composición gas/líquido   kg/h							
CO <sub>2</sub>		-	-	-	11	-	-
H <sub>2</sub> O		-	-	-	8	-	-
N <sub>2</sub>		-	-	-	76	-	-
O <sub>2</sub>		-	-	-	5	-	-
<b>Nº de corriente</b>		<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>			
Descripción		Entrada C-1 / C-2	Dopado de Gases	Entrada C-1 / C-2			
Fluido		Gas Proceso	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , etc	Gas Proceso			
Fase		G	G	G			
Caudal                      kg/h		392	-	392			
Temperatura                °C		50	-	50			
Presión                      bar		1.0	-	1.0			
Caudal fase gas/vapor    Nm <sup>3</sup> /h		392.00	-	392.00			
Composición gas/líquido   kg/h							
CO <sub>2</sub>		11	-	11			
H <sub>2</sub> O		8	-	8			
N <sub>2</sub>		76	-	76			
O <sub>2</sub>		5	-	5			

		<b>BALANCE DE MATERIA</b>		600 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil Combustión convencional		<b>Nº DE CASO: 2</b> <b>REVISIÓN: 0</b> <b>FECHA: 12/11/11</b>  <b>ELAB:       APR:</b> <b>HOJA: 1 DE 2</b>	
<b>Nº de corriente</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Descripción		Entrada S-4	Salida S-4	Salida S-3	Entrada S-1	Salida S-1	Almacenamiento O <sub>2</sub>
Fluido		Aire Atmosférico	Aire Atmosférico	Gas Recirculación	Gas Comburente	Gas Comburente	O <sub>2</sub>
Fase		G	G	G	G	G	G
Caudal		kg/h	743	743	-	743	743
Temperatura		°C	25	25	-	25	25
Presión		bar	1.0	1.0	-	1.0	1.0
Caudal fase gas/vapor		Nm <sup>3</sup> /h	743	743	-	372	372
Composición gas/líquido		kg/h					
CO <sub>2</sub>			0	0	-	0	0
H <sub>2</sub> O			0	0	-	0	0
N <sub>2</sub>			79	79	-	79	79
O <sub>2</sub>			21	21	-	21	21
<b>Nº de corriente</b>		<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Descripción		Entrada Caldera	Combustible	Salida gases caldera	Gas Recirculación	Entrada I-2	Salida I-2
Fluido		Gas Comburente	Gasoil	Gas Combustión	Gas Combustión	Gas Proceso	Gas Proceso
Fase		G	L	G	G	G	G
Caudal		kg/h	743	40	783	-	783
Temperatura		°C	25	25	250	-	250
Presión		bar	1.0	2.0	1.0	-	1.0
Caudal fase gas/vapor		Nm <sup>3</sup> /h	372	-	392.00	-	392.00
Composición gas/líquido		kg/h					
CO <sub>2</sub>			0	-	11	-	11
H <sub>2</sub> O			0	-	8	-	8
N <sub>2</sub>			79	-	76	-	76
O <sub>2</sub>			21	-	5	-	5

		<b>BALANCE DE MATERIA</b>		Nº DE CASO: 2 REVISIÓN: 0 FECHA: 12/11/11  ELAB:            APR:  HOJA: 2 DE 2			
		600 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil Combustión convencional					
Nº de corriente		<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Descripción		By-pass I-2	Entrada Plasmacol	Salida Plasmacol	Salida S-2	Chimenea	Purga E-1
Fluido		Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas a Chimenea	Agua
Fase		G	G	G	G	G	L
Caudal	kg/h	-	-	-	783	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	150	-	-
Presión	bar	-	-	-	1.0	-	-
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	-	-	-	392.00	-	-
Composición gas/líquido	kg/h						
CO <sub>2</sub>		-	-	-	11	-	-
H <sub>2</sub> O		-	-	-	8	-	-
N <sub>2</sub>		-	-	-	76	-	-
O <sub>2</sub>		-	-	-	5	-	-
Nº de corriente		<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>			
Descripción		Entrada C-1 / C-2	Dopado de Gases	Entrada C-1 / C-2			
Fluido		Gas Proceso	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , etc	Gas Proceso			
Fase		G	G	G			
Caudal	kg/h	783	-	783			
Temperatura	°C	50	-	50			
Presión	bar	1.0	-	1.0			
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	392.00	-	392.00			
Composición gas/líquido	kg/h						
CO <sub>2</sub>		11	-	11			
H <sub>2</sub> O		8	-	8			
N <sub>2</sub>		76	-	76			
O <sub>2</sub>		5	-	5			

	<b>BALANCE DE MATERIA</b>		<b>Nº DE CASO: 3</b>			
	300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil OXI 30		<b>REVISIÓN: 0 FECHA: 12/11/11</b> <b>ELAB: APR:</b> <b>HOJA: 1 DE 2</b>			
Nº de corriente	1	2	3	4	5	6
Descripción	Entrada S-4	Salida S-4	Salida S-3	Entrada S-1	Salida S-1	Almacenamiento O <sub>2</sub>
Fluido	Aire Atmosférico	Aire Atmosférico	Gas Recirculación	Gas Comburente	Gas Comburente	O <sub>2</sub>
Fase	G	G	G	G	G	G
Caudal	kg/h	kg/h	-	kg/h	kg/h	kg/h
Temperatura	°C	°C	-	°C	°C	°C
Presión	bar	bar	-	bar	bar	bar
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
Composición gas/líquido	kg/h	kg/h	-	kg/h	kg/h	kg/h
CO <sub>2</sub>	0	0	-	0	0	0
H <sub>2</sub> O	0	0	-	0	0	0
N <sub>2</sub>	79	79	-	79	79	0
O <sub>2</sub>	21	21	-	21	21	100
Nº de corriente	7	8	9	10	11	12
Descripción	Entrada Caldera	Combustible	Salida gases caldera	Gas Recirculación	Entrada I-2	Salida I-2
Fluido	Gas Comburente	Gasoil	Gas Combustión	Gas Combustión	Gas Proceso	Gas Proceso
Fase	G	L	G	G	G	G
Caudal	kg/h	kg/h	kg/h	-	kg/h	kg/h
Temperatura	°C	°C	°C	-	°C	°C
Presión	bar	bar	bar	-	bar	bar
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	-	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
Composición gas/líquido	kg/h	-	kg/h	-	kg/h	kg/h
CO <sub>2</sub>	0	-	17	-	17	17
H <sub>2</sub> O	0	-	13	-	13	13
N <sub>2</sub>	70	-	66	-	66	66
O <sub>2</sub>	30	-	5	-	5	5

	<b>BALANCE DE MATERIA</b>		300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil OXI 30		<b>Nº DE CASO: 3</b>	
					<b>REVISIÓN: 0      FECHA: 12/11/11</b>	
					<b>ELAB:      APR:</b>	
					<b>HOJA: 2 DE 2</b>	
Nº de corriente	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Descripción	By-pass I-2	Entrada Plasmacol	Salida Plasmacol	Salida S-2	Chimenea	Purga E-1
Fluido	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas a Chimenea	Agua
Fase	G	G	G	G	G	L
Caudal	kg/h	-	-	398	-	1
Temperatura	°C	-	-	150	-	50
Presión	bar	-	-	1.0	-	1.00
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	-	-	398.00	-	-
Composición gas/líquido	kg/h					
CO <sub>2</sub>	-	-	-	17	-	-
H <sub>2</sub> O	-	-	-	13	-	-
N <sub>2</sub>	-	-	-	66	-	-
O <sub>2</sub>	-	-	-	5	-	-
Nº de corriente	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>			
Descripción	Entrada C-1 / C-2	Dopado de Gases	Entrada C-1 / C-2			
Fluido	Gas Proceso	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , etc	Gas Proceso			
Fase	G	G	G			
Caudal	kg/h	397	783			
Temperatura	°C	50	50			
Presión	bar	1.0	1.0			
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	397.00	392.00			
Composición gas/líquido	kg/h					
CO <sub>2</sub>	17	-	17			
H <sub>2</sub> O	13	-	13			
N <sub>2</sub>	66	-	66			
O <sub>2</sub>	5	-	5			

		<b>BALANCE DE MATERIA</b>		300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil OXI 40		<b>Nº DE CASO: 4</b>			
						<b>REVISIÓN: 0</b>		<b>FECHA: 12/11/11</b>	
						<b>ELAB: APR:</b>			
						<b>HOJA: 1 DE 2</b>			
<b>Nº de corriente</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		
<b>Descripción</b>		Entrada S-4	Salida S-4	Salida S-3	Entrada S-1	Salida S-1	Almacenamiento O <sub>2</sub>		
<b>Fluido</b>		Aire Atmosférico	Aire Atmosférico	Gas Recirculación	Gas Comburente	Gas Comburente	O <sub>2</sub>		
<b>Fase</b>		G	G	G	G	G	G		
<b>Caudal</b> kg/h		285	285	157	441	441	100		
<b>Temperatura</b> °C		25	25	250	109	109	25		
<b>Presión</b> bar		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
<b>Caudal fase gas/vapor</b> Nm <sup>3</sup> /h		285	285	157	441	441	100		
<b>Composición gas/líquido</b> kg/h									
CO <sub>2</sub>		0	0	23	8	8	0		
H <sub>2</sub> O		0	0	17	6	6	0		
N <sub>2</sub>		79	79	55	71	71	0		
O <sub>2</sub>		21	21	5	15	15	100		
<b>Nº de corriente</b>		<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>		
<b>Descripción</b>		Entrada Caldera	Combustible	Salida gases caldera	Gas Recirculación	Entrada I-2	Salida I-2		
<b>Fluido</b>		Gas Comburente	Gasoil	Gas Combustión	Gas Combustión	Gas Proceso	Gas Proceso		
<b>Fase</b>		G	L	G	G	G	G		
<b>Caudal</b> kg/h		541	44	585	157	429	429		
<b>Temperatura</b> °C		95	25	250	250	250	150		
<b>Presión</b> bar		1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
<b>Caudal fase gas/vapor</b> Nm <sup>3</sup> /h		541	-	585	157	429	429		
<b>Composición gas/líquido</b> kg/h									
CO <sub>2</sub>		7	-	23	23	23	23		
H <sub>2</sub> O		5	-	17	17	17	17		
N <sub>2</sub>		58	-	55	55	55	55		
O <sub>2</sub>		30	-	5	5	5	5		

	<b>BALANCE DE MATERIA</b>		300 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil OXI 40		<b>Nº DE CASO: 4</b> <b>REVISIÓN: 0</b> <b>FECHA: 12/11/11</b> <b>ELAB: APR:</b> <b>HOJA: 2 DE 2</b>	
<b>Nº de corriente</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>Descripción</b>	By-pass I-2	Entrada Plasmacol	Salida Plasmacol	Salida S-2	Chimenea	Purga E-1
<b>Fluido</b>	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas a Chimenea	Agua
<b>Fase</b>	G	G	G	G	G	L
<b>Caudal</b> kg/h	-	-	-	429	-	15
<b>Temperatura</b> °C	-	-	-	150	-	50
<b>Presión</b> bar	-	-	-	1.0	-	1.00
<b>Caudal fase gas/vapor</b> Nm <sup>3</sup> /h	-	-	-	429	-	-
<b>Composición gas/líquido</b> kg/h						
CO <sub>2</sub>	-	-	-	23	-	-
H <sub>2</sub> O	-	-	-	17	-	-
N <sub>2</sub>	-	-	-	55	-	-
O <sub>2</sub>	-	-	-	5	-	-
<b>Nº de corriente</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>			
<b>Descripción</b>	Entrada C-1 / C-2	Dopado de Gases	Entrada C-1 / C-2			
<b>Fluido</b>	Gas Proceso	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , etc	Gas Proceso			
<b>Fase</b>	G	G	G			
<b>Caudal</b> kg/h	414	-	414			
<b>Temperatura</b> °C	50	-	50			
<b>Presión</b> bar	1.0	-	1.0			
<b>Caudal fase gas/vapor</b> Nm <sup>3</sup> /h	414	-	414			
<b>Composición gas/líquido</b> kg/h						
CO <sub>2</sub>	25	-	25			
H <sub>2</sub> O	12	-	12			
N <sub>2</sub>	58	-	58			
O <sub>2</sub>	5	-	5			

		BALANCE DE MATERIA		Nº DE CASO: 5			
		350 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil		REVISIÓN: 0      FECHA: 12/05/11			
		OXI 80		ELAB:      APR:			
		HOJA: 1 DE 2					
Nº de corriente		1	2	3	4	5	6
Descripción		Entrada S-4	Salida S-4	Salida S-3	Entrada S-1	Salida S-1	Almacenamiento O <sub>2</sub>
Fluido		Aire Atmosférico	Aire Atmosférico	Gas Recirculación	Gas Comburente	Gas Comburente	O <sub>2</sub>
Fase		G	G	G	G	G	G
Caudal	kg/h	126	126	631	757	757	412
Temperatura	°C	25	25	250	217	217	25
Presión	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	126	126	631	757	757	412
Composición gas/líquido	kg/h						
CO <sub>2</sub>		0	0	61	37	37	0
H <sub>2</sub> O		0	0	19	28	28	0
N <sub>2</sub>		79	79	15	28	28	0
O <sub>2</sub>		21	21	5	8	8	100
Nº de corriente		7	8	9	10	11	12
Descripción		Entrada Caldera	Combustible	Salida gases caldera	Gas Recirculación	Entrada I-2	Salida I-2
Fluido		Gas Comburente	Gasoil	Gas Combustión	Gas Combustión	Gas Proceso	Gas Proceso
Fase		G	L	G	G	G	G
Caudal	kg/h	780	126	1294	631	663	663
Temperatura	°C	105	25	250	250	250	150
Presión	bar	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Caudal fase gas/vapor	Nm <sup>3</sup> /h	780	-	1294	631	663	663
Composición gas/líquido	kg/h						
CO <sub>2</sub>		30	-	61	61	61	61
H <sub>2</sub> O		21	-	19	19	19	19
N <sub>2</sub>		19	-	15	15	15	15
O <sub>2</sub>		30	-	5	5	5	5

		<b>BALANCE DE MATERIA</b>					
		350 Nm <sup>3</sup> /h, Caldera agua caliente gasoil OXI 80		<b>Nº DE CASO: 5</b> <b>REVISIÓN: 0</b> <b>FECHA: 12/05/11</b> <b>ELAB: APR:</b> <b>HOJA: 2 DE 2</b>			
Nº de corriente		13	14	15	16	17	18
Descripción		By-pass I-2	Entrada Plasmacol	Salida Plasmacol	Salida S-2	Chimenea	Purga E-1
Fluido		Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas Proceso	Gas a Chimenea	Agua
Fase		G	G	G	G	G	L
Caudal kg/h		-	-	-	663	-	92
Temperatura °C		-	-	-	150	-	50
Presión bar		-	-	-	1.0	-	1.00
Caudal fase gas/vapor Nm <sup>3</sup> /h		-	-	-	663	-	-
Composición gas/líquido kg/h							
CO <sub>2</sub>		-	-	-	61	-	-
H <sub>2</sub> O		-	-	-	19	-	-
N <sub>2</sub>		-	-	-	15	-	-
O <sub>2</sub>		-	-	-	5	-	-
Nº de corriente		19	20	21			
Descripción		Entrada C-1 / C-2	Dopado de Gases	Entrada C-1 / C-2			
Fluido		Gas Proceso	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , etc	Gas Proceso			
Fase		G	G	G			
Caudal kg/h		571	-	571			
Temperatura °C		50	-	50			
Presión bar		1.0	-	1.0			
Caudal fase gas/vapor Nm <sup>3</sup> /h		571	-	571			
Composición gas/líquido kg/h							
CO <sub>2</sub>		64	-	64			
H <sub>2</sub> O		12	-	12			
N <sub>2</sub>		18	-	18			
O <sub>2</sub>		7	-	7			

### 4.2.3. Diseño Caldera

Para la selección de la caldera, se ha realizado un exhaustivo análisis de sensibilidad a partir de la herramienta de simulación desarrollada en Aspen Plus™. En base a las simulaciones realizadas, se ha podido determinar el rango de caudal de combustible con el que debe operar el quemador y la potencia máxima de la caldera, que permite optimizar y maximizar las prestaciones de la instalación desde un punto de vista experimental, dado el amplio rango de operación que permite su operación.

Como objetivos específicos que deben ser cumplidos, se fija el máximo nivel de enriquecimiento de O<sub>2</sub> en la corriente de aire enriquecido sobre un 80% y el caudal de gases a tratar por la instalación experimental de 300 Nm<sup>3</sup>/h. Los resultados de las simulaciones se muestran en la Tabla 4.16:

Tabla 4.16. Resultados simulación caldera

Modo de Combustión	Caudal másico de cble (kg/h)	Producción de gases de cbltion (Nm <sup>3</sup> /h)	Caudal másico de cble necesario (kg/h)
Aire	21	300	21
Oxi 25	22	300	22
Oxi 30	28	300	28
Oxi 40	45	300	45
Oxi 50	59	300	59
Oxi 60	74	300	74
Oxi 70	91	300	91
Oxi 80	<b>108</b>	<b>300</b>	<b>108</b>
Oxi 85	110	223	117
Oxi 90	110	206	127
Oxi 100	110	194	147

Según se expuso en las bases de diseño, el grado máximo de oxicomcombustión en operación es de oxi 80%, por lo tanto se determina como rango de caudal el intervalo de 20 a 110 kg/h de gasoil. Con este rango se garantiza la operatividad de la caldera para todos los modos de operación, desde aire hasta oxicomcombustión con aire enriquecido al

80%. Para el resto de grados de oxicomcombustión hasta O<sub>2</sub> puro (oxi 100%), se producen un caudal de gas de proceso inferior a los 300 Nm<sup>3</sup>/h. Los valores de caudal calculados por el simulador para estas condiciones son recogidos en la Tabla anterior.

A continuación se describen las características de cada uno de los equipos que componen la caldera de agua caliente:

### **Caldera de agua caliente**

La caldera de agua caliente ha sido suministrada por VULCANO S.A. El modelo es OMNICAL tipo DWH 125/S: Las dimensiones y principales características de operación se muestran en la Tabla 4.17:

**Tabla 4.17. Especificaciones caldera agua caliente**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	
Modelo	OMNICAL DWH 125/S	
Potencia Térmica	1450	kW
Resistencia en Humos	100	mmca
Volumen de Agua	3,775	m <sup>3</sup>
Peso a vacío	5,5	t
Tomas salida y retorno	DN 80	
Longitud	3,9	m
Anchura	1,76	m
Altura	2,25	m

La caldera está catalogada como categoría I, por lo que no requiere disponer de recinto de sala de caldera para su instalación.

### **Quemador**

El quemador es uno de los elementos más importantes en la instalación. Se dispone de un manual suministrado por el fabricante donde se recoge toda la información referente al mismo. En este documento resume de forma breve y concisa las principales características del equipo.

El aparato está constituido por un equipo de calentamiento basado en un quemador de mezcla en el inyector y comburente forzado, en el que la pulverización del combustible líquido se realiza mediante aire comprimido.

El quemador emplea gasoil como combustible. Dispone de rampas de comburente (aire enriquecido) y combustible dispuestas externamente al mismo.

El encendido se realiza mediante un piloto de gas y aire comprimido, con sus rampas de control correspondientes.

Los valores de tarado para el funcionamiento del quemador se recogen en la siguiente tabla (Tabla 4.18):

Tabla 4.18. Especificaciones quemador oxicomcombustión

TARADO	Valor
Combustible acometida	2-4 barg
Presostato falta cble	0,5 barg
Presostato presión cble	5 barg
Presostato falta cbte	10 mbarg
Presostato falta aire comp	4 barg
Tiempo de purga	120 s

El quemador dispone de un sistema de regulación de potencia mediante el aporte de combustible y comburente correspondiente y de un sistema de regulación de proporcionalidad para los casos en los que se trabaje con aire enriquecido.

Para garantizar las condiciones operativas del quemador, además de las disposiciones de tarado indicadas en la Tabla 4.18, es fundamental asegurar en todo el rango de operación que la concentración de O<sub>2</sub> en el comburente sea inferior al 30%v/v y que la temperatura del comburente sea inferior a 250°C.

#### 4.2.4. Diseño Soplantes

La instalación de generación de gases consta de cuatro soplantes de impulsión de gases. Permiten una regulación y control adecuados de las presiones y caudales de forma independiente para cada una de las líneas, favoreciendo la flexibilidad en la operación y garantizando el correcto funcionamiento para cada uno de los modos de operación dispuestos.

Para realizar los cálculos de las especificaciones técnicas solicitadas para cada soplante, se dispuso de los balances de materia realizados para cada modo de operación y se evaluó para cada caso las pérdidas de cargas en el sistema mediante el empleo de nomogramas recogidos en [17]. Se emplearon los isométricos tentativos elaborados a partir del diagrama de procesos (no incluidos en el alcance de este documento). Se determinaron los puntos de operación para cada soplante y se definieron las condiciones de diseño para cada equipo, recogidas en la Tabla 4.19:

Tabla 4.19. Solicitaciones soplantes

S-1	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta P$ (mbar)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	P aspiración (mbar)
OXI 80	1605	93	0.767	230	1015
OXI 30	273.03	96	1.179	25	977
S-2	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta P$ (mbar)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	P aspiración (mbar)
OXI 80	719.68	90	0.922	150	972
OXI 40	493.36	9	0.869	150	1028
S-3	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta P$ (mbar)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	P aspiración (mbar)
OXI 80	1481	75	0.746	250	996
S-4	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta P$ (mbar)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	P aspiración (mbar)
OXI 80	106.84	35	1.2	25	1013
OXI 40	241.29	10	1.2	25	1013

Las soplantes fueron suministradas por Soler y Palau S.A. Son de tipo centrífugo accionadas por motor eléctrico. Las características de cada una de ellas se recogen en la Tabla 4.20:

Tabla 4.20. Especificaciones soplantes

SOPLANTE S-1			SOPLANTE S-2		
Características	Valor		Características	Valor	
Modelo	CKFT/2-711 15KW R7012 400/690V 50Hz R		Modelo	CKAT/2-801 9,2KW R7012 400/690V 50Hz R	
Velocidad	2900	rpm	Velocidad	2945	rpm
Potencia motor	15	kW	Potencia motor	9,2	kW
Intensidad motor (a 400V)	27	A	Intensidad motor (a 400V)	17,10	A
Caudal max	3460	m <sup>3</sup> /h		1330	m <sup>3</sup> /h
Nivel decibelios	86	db	Nivel decibelios	86	db
Peso	240	kg	Peso	162	kg
Orientación	RD 270°		Orientación	LG 90°	
Longitud	1000	mm	Longitud	925	mm
Anchura	710	mm	Anchura	550	mm
Altura	1120	mm	Altura	995	mm
Diámetro de entrada	265	mm	Diámetro de entrada	200	mm
Embocadura salida	DN 200		Embocadura salida	DN 100	

SOPLANTE S-3			SOPLANTE S-4		
Características	Valor		Características	Valor	
Modelo	CKFT/2-631 9,2KW R7012 400/690V 50Hz R		Modelo	CKAT/2-451 1,1KW R7012 400/690V 50Hz	
Velocidad	2900	rpm	Velocidad	2850	rpm
Potencia motor	9,2	kW	Potencia motor	1,1	kW
Intensidad motor (a 400V)	16,6	A	Intensidad motor (a 400V)	2,5	A
Caudal max	3060	m <sup>3</sup> /h	Caudal max	690	m <sup>3</sup> /h
Nivel decibelios	86	db	Nivel decibelios	74	db
Peso	240	kg	Peso	44	kg
Orientación	RD 270°		Orientación	LG 270°	

Longitud	900	mm	Longitud	635	mm
Anchura	600	mm	Anchura	315	mm
Altura	1000	mm	Altura	670	mm
Diámetro de entrada	241	mm	Diámetro de entrada	182	mm
Embocadura salida	DN 150		Embocadura salida	DN 125	

#### 4.2.5. Diseño Válvulas de Control

Las válvulas de control automáticas han sido diseñadas para permitir una rangeabilidad máxima que otorgue una excelente versatilidad en las condiciones operativas dispuestas en el plan de pruebas de la instalación.

Estas válvulas están dispuestas en las líneas de proceso de gases: líneas de aporte de aire, recirculación y purga a chimenea. La válvula de control del caudal de comburente ha sido diseñada por el suministrador del quemador, siendo regulada en función de la composición en O<sub>2</sub> del comburente, el caudal de combustible y el exceso de O<sub>2</sub> consignado en salida de caldera. La lógica y el control de esta válvula se encuentra integrada dentro del cuadro de maniobra de la caldera mientras que para las válvulas diseñadas se encuentran en el PLC del cuadro general de control de la instalación.

Para realizar el diseño, se han tenido en cuenta tanto las prestaciones en cuanto a presiones disponibles gracias a los equipos de impulsión diseñados como la rangeabilidad solicitada por las características operativas de la caldera. Se ha empleado el software ESS para simular las condiciones operativas de cada válvula y determinar tanto el coeficiente  $K_{vs}$  como la pérdida de carga máxima que provoca su inclusión en la instalación (estimada previamente para elaborar los cálculos para las soplantes de la instalación). La Tabla 4.21 resume los resultados y especificaciones para cada válvula diseñada:

Tabla 4.21. Especificaciones válvulas de control

**Válvula de control XV-001**

		Rango Máximo de Operación
<i>Fluido</i>		AIRE
<i>Temperatura</i>		25°C
<i>Densidad</i>		1.18 kg/m <sup>3</sup>
<i>Viscosidad</i>		0.009 cP
<i>Presión entrada</i>		1040 mbar*
$\Delta P$		25 mbar
<i>Rango de Caudales</i>	$Q_{min}$	100 m <sup>3</sup> /h
	$Q_{diseño}$	-
	$Q_{max}$	650 m <sup>3</sup> /h
<i>Diámetro línea</i>		DN 200

\*Se puede considerar que se trabaja a presión atmosférica en todo el rango de operación

**Válvula de control XV-002**

		Rango Máximo de Operación
<i>Fluido</i>	$H_2O$ (%molar)	34
	$CO_2$ (%molar)	45
	$N_2$ (%molar)	17
	$O_2$ (%molar)	5
<i>T comienzo condensación</i>		<70°C
<i>Densidad</i>		0.75 kg/m <sup>3</sup>
<i>Viscosidad</i>		0,03
<i>Temperatura</i>		250°C
<i>Presión entrada</i>		1000 mbar
$\Delta P$		20 mbar
<i>Caudal</i>		1500 m <sup>3</sup> /h
<i>Diámetro línea</i>		DN 150

\*Se puede considerar la que se utiliza para gases de combustión a la temperatura correspondiente

**Válvula de control XV-003**

		Rango Máximo de Operación
<i>Fluido</i>	<i>H<sub>2</sub>O (%molar)</i>	8
	<i>CO<sub>2</sub> (%molar)</i>	11
	<i>N<sub>2</sub> (%molar)</i>	76
	<i>O<sub>2</sub> (%molar)</i>	5
<i>Densidad</i>		0.84 kg/m <sup>3</sup>
<i>Viscosidad</i>		0.018 cP
<i>Temperatura</i>		150°C
<i>Presión entrada</i>		1034 mbar
<i>ΔP</i>		20 mbar
<i>Caudal</i>		50 m <sup>3</sup> /h
<i>Diámetro línea</i>		DN 100

\*Se puede considerar la que se utiliza para gases de combustión a la temperatura correspondiente

#### 4.2.6. Diseño Circuitos de Refrigeración

El sistema de refrigeración consta de una torre de refrigeración, un intercambiador de placas para refrigerar el agua caliente producida en la caldera, un intercambiador pirotubular para enfriar los gases de combustión desde 250°C hasta 150°C, un intercambiador helicoidal para enfriar los gases de combustión desde 150°C hasta 50°C y un sistema de bombeo compuesto por tres bombas que suministran agua de refrigeración a cada intercambiador mediante circuitos independientes. Estos circuitos parten de un colector común de salida, aguas abajo de la balsa de almacenamiento de la torre de refrigeración y llegan hasta un colector común de entrada, previo a la torre.

Para realizar el diseño de los intercambiadores y determinar la potencia de refrigeración de la torre, se ha empleado el software Aspen Plus™ y un paquete propio de Aspen Plus™ dedicado al diseño de intercambiadores, denominado HTFS.

Los resultados de las simulaciones para cada uno de los casos supuestos se recogen en la Tabla 4.22:

Tabla 422. Resultados simulaciones sistema de refrigeración de la instalación experimental

Temperatura salida torre (°C)	Intercambiador de Placas Agua Caliente		Intercambiador 1 de gases		Temperatura entrada torre (°C)
	Caudal agua ref (m <sup>3</sup> /h)	Área Intercambiador (m <sup>2</sup> )	Caudal agua ref (m <sup>3</sup> /h)	Área Intercambiador (m <sup>2</sup> )	
40	64.1	14.5	23.8	2.35	54.2
39	63.1	14.3	18.0	2.39	54.4
38	59.3	13.5	15.6	2.35	54.7
37	57.1	13.0	13.8	2.34	54.6
36	55.2	12.4	11.3	2.38	54.7
<b>35</b>	<b>54.1</b>	<b>12.2</b>	<b>9.1</b>	<b>1.96</b>	<b>54.7</b>
34	51.4	11.8	8.6	1.92	54.7
33	51.0	11.6	8.2	1.87	54.0
32	47.9	10.9	7.1	1.88	54.3
31	46.3	11.2	6.6	1.91	54.7
30	44.5	10.9	6.2	1.84	54.7

Se seleccionó una temperatura de salida de torre en funcionamiento de 35°C, definiendo los valores para las secciones de cada intercambiador según los valores de la Tabla 4.22. El criterio seguido ha consistido en la minimización de los costes de inversión frente a los costes operativos.

En el caso de las bombas, se ha actuado del mismo modo que para el cálculo de las especificaciones de las soplantes, basado en los métodos de cálculo de pérdida de carga propuestos en [17] y en los isométricos tentativos elaborados a partir del diagrama de procesos (no incluidos en el alcance de este documento)

En la Tabla 4.23 pueden verse las principales características de las bombas empleadas en la operación de refrigeración de los gases de caldera y del agua caliente producida, mientras que en la Tabla 4.24 se recogen las características de la torre de refrigeración:

Tabla 4.23. Especificaciones bombas de refrigeración caldera e instalación

Tag	Modelo	Descripción	Q (m <sup>3</sup> /h)	H (mca)	P(kW)	Velocidad (rpm)
B-0	CRN 64-1	Bomba vertical multicelular en 316	65.0	20.0	5,50	2900
BR-1	CR 64-2-2	Bomba vertical multicelular en 304	49.0	29.0	7,50	2900
BR-2	CR 15-6	Bomba vertical multicelular en 304	0,9	24.0	0,37	2900
BR-3	CR 10-4	Bomba vertical multicelular en 304	10.0	31.0	1,50	2900

Tabla 4.24. Especificaciones torre refrigeración

Características	Valor
Modelo	TVAP 078
T húmeda	26 °C
T agua caliente	60 °C
T agua enfriada	35 °C
Potencia a disipar	2616 kW
Caudal agua	90 m <sup>3</sup> /h
Ventiladores	1
Potencia ventilador	7,5 kW
Caudal aire	14,36 m <sup>3</sup> /s
Nivel sonoro	62 db
Presió colector entrada	22,2 kPa
Agua evaporación + arrastre	1,08 l/s
Peso carga / vacío	675 kg / 2265 kg
Longitud	2110 mm
Anchura	1810 mm
Altura	3320 mm

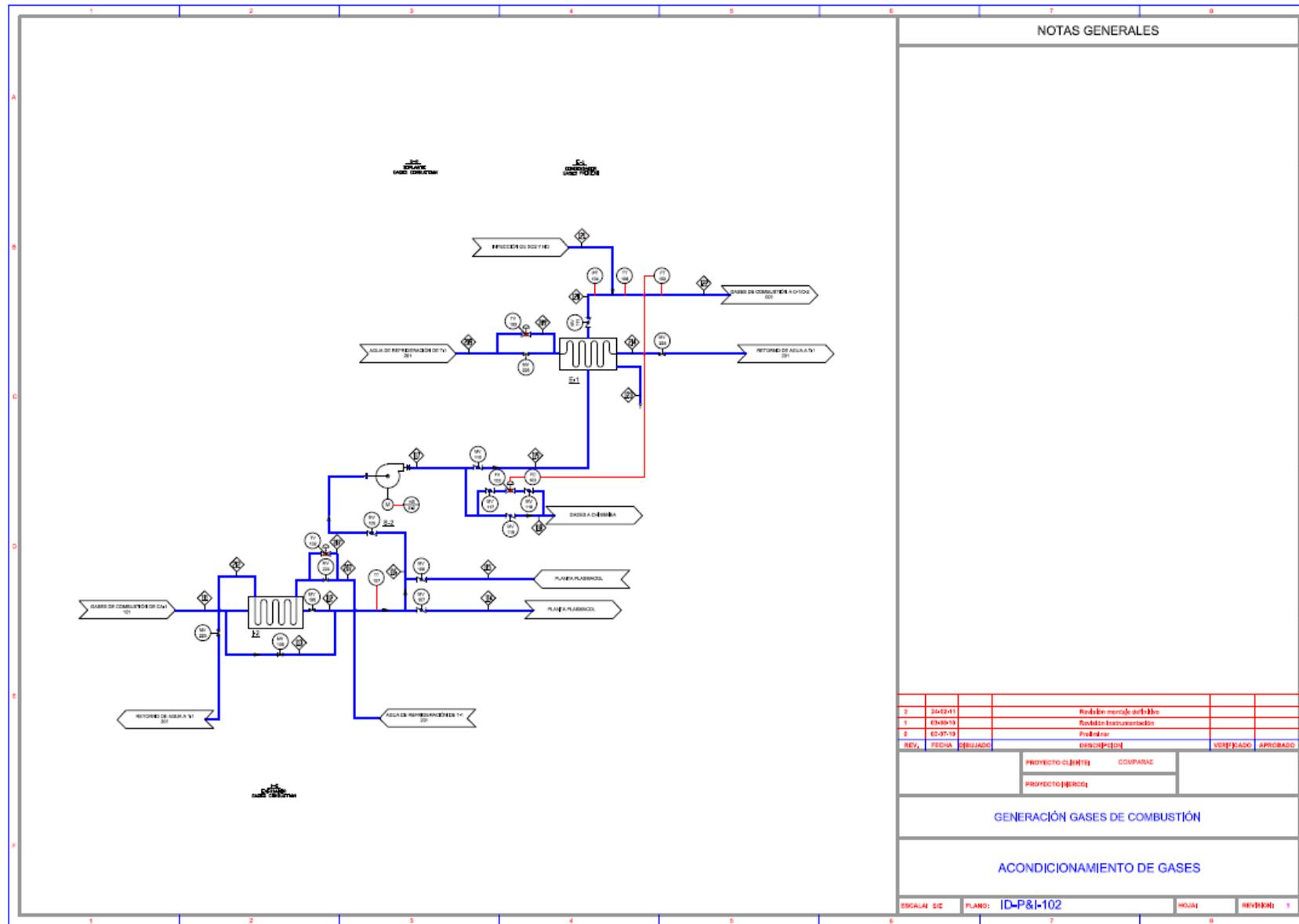
### 4.3. Diagrama de Procesos e Instrumentación

El diagrama de procesos e Instrumentación ha sido realizado a partir del diagrama de flujo representado en la Figura 4.2. En dicho diagrama se hace especial hincapié en los elementos que componen los lazos de control de la caldera y el quemador de oxidación, así como los principales equipos, valvulería e instrumentación de la instalación experimental.

#### 4.3.1. Diagrama P&ID

Las Figuras 4.4 – 4.7 muestran el diagrama de procesos e de la instalación:





**NOTAS GENERALES**

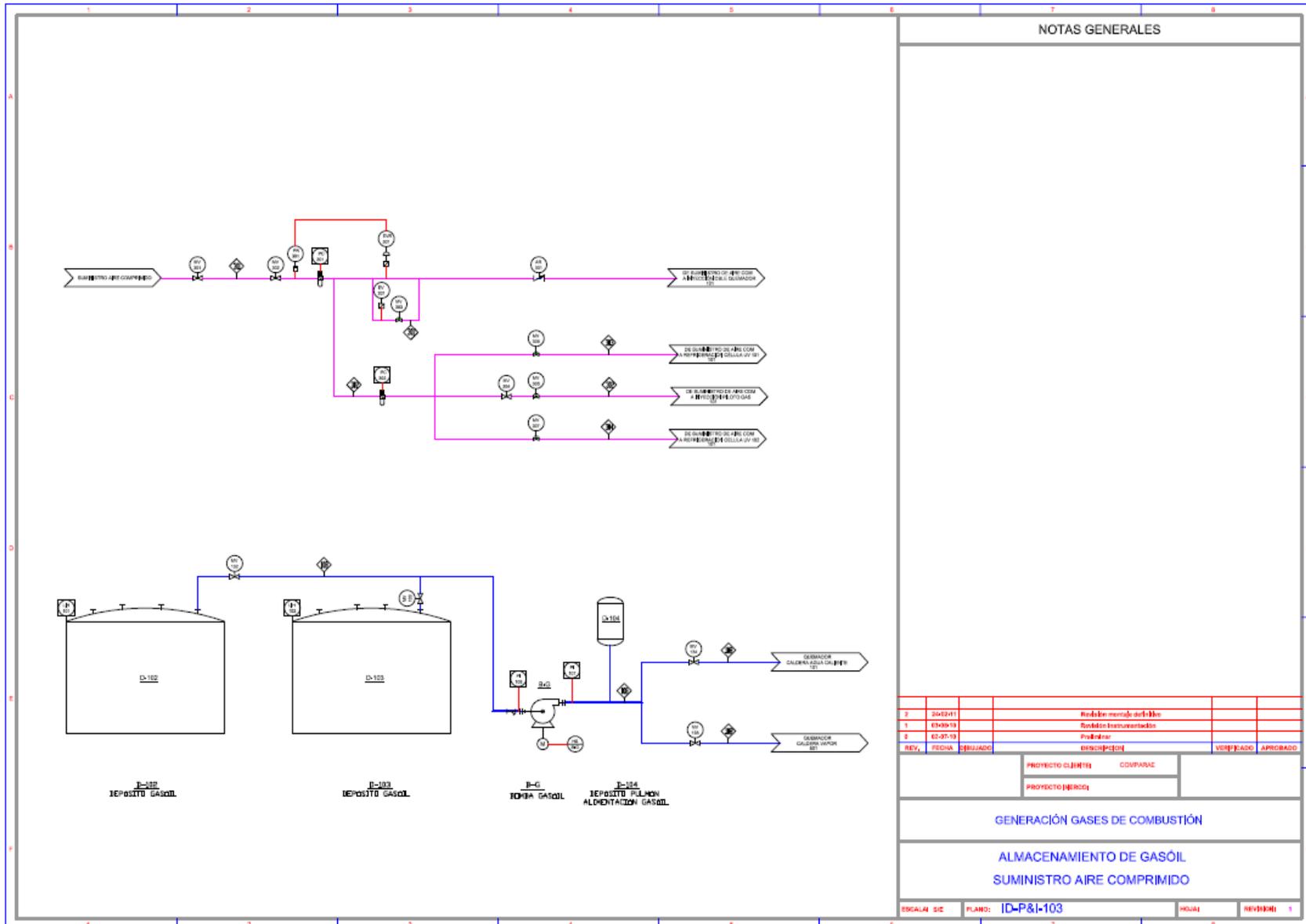
2	24-02-11	Revisión montaje de tuberías		
1	07-06-10	Revisión instrumentación		
0	02-07-10	Proyecto preliminar		
REV.	FECHA	ELABORADO	VERIFICADO	APROBADO

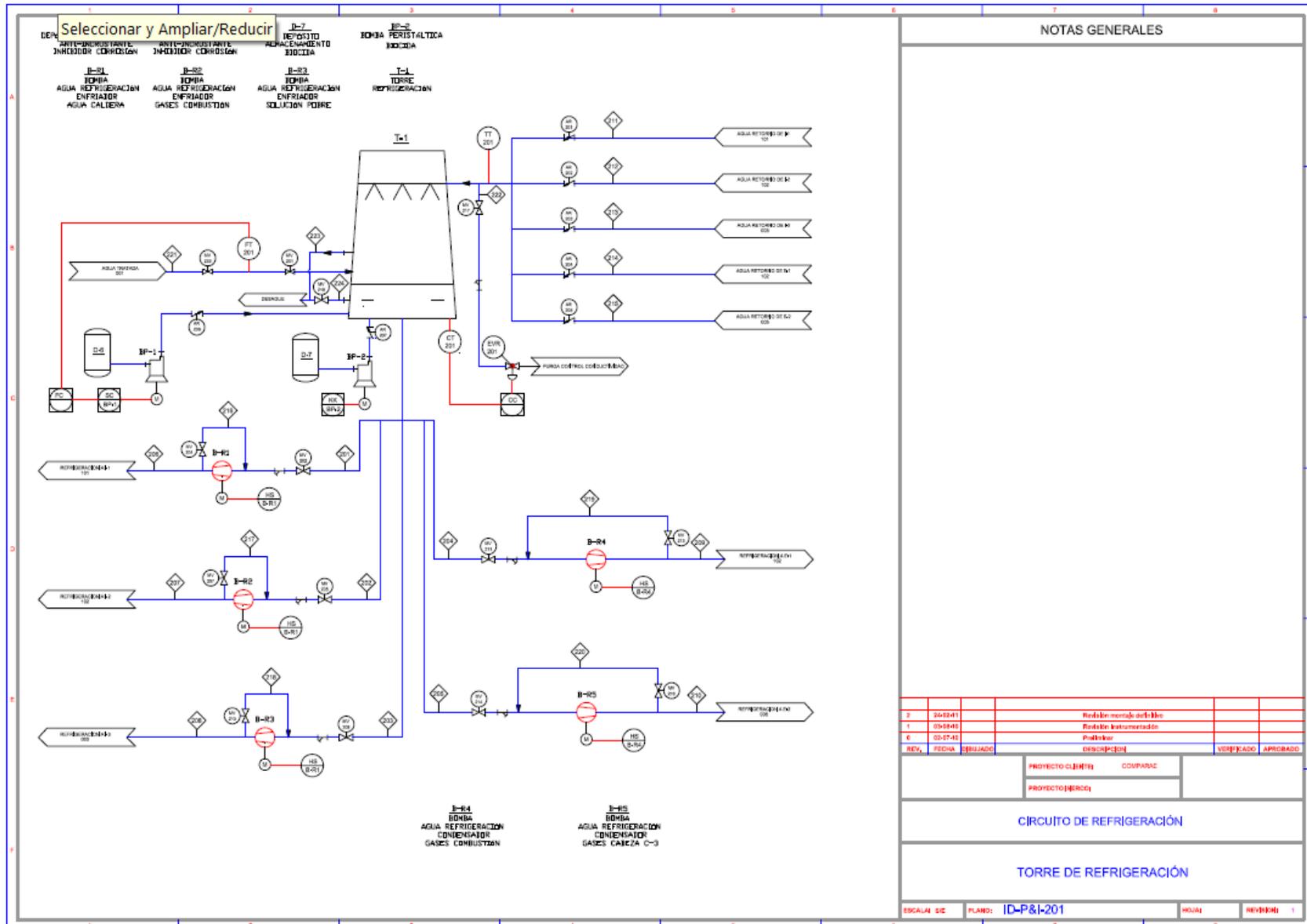
PROYECTO CLIENTE: COMPARAR  
 PROYECTO INTERIO:

**GENERACIÓN GASES DE COMBUSTIÓN**

**ACONDICIONAMIENTO DE GASES**

ESCALA: S/C    PLANO: ID-P&I-102    HOJA:    REVISIÓN: 1





### 4.3.2. Listados

Los listados que se muestran en los siguientes apartados han sido realizados a partir del diagrama de procesos e instrumentación representados en las Figuras 4.4 – 4.7.

#### 4.3.2.1. Equipos

Tabla 4.25. Listado de equipos generación de gases

Equipo	Identificación	Equipo	Identificación
Caldera de agua caliente	CA-1	Grupo de presión de gasoil	B-G
Soplante impulsión comburente	S-1	Depósito pulmón agua caldera	D-101
Soplante tiro inducido caldera	S-2	Depósito de gasoil (I)	D-102
Soplante gases recirculados	S-3	Depósito de gasoil (II)	D-103
Soplante impulsión aire	S-4	Depósito pulmón gasoil	D-104
Intercambiador circuito primario	I-1		
Enfriador de gases combustión (I)	I-2		
Enfriador de gases combustión (II)	E-1		
Bomba circuito primario	B-0		

Tabla 4.26. Listado de equipos de refrigeración empleados en generación de gases

Equipo	Identificación	Equipo	Identificación
Torre de refrigeración	T-1	Bomba peristáltica anti-incrustante e inhibidor de la corrosión	BP-1
Bomba de refrigeración I-1	BR-1	Bomba peristáltica biocida	BP-2
Bomba de refrigeración I-2	BR-2	Depósito almacenamiento anti-incrustante e inhibidor de la corrosión	D-6
Bomba de refrigeración I-3	BR-3	Depósito almacenamiento biocida	D-7
Bomba de refrigeración E-1	BR-4		
Bomba de refrigeración E-2	BR-5		

## 4.3.2.2. Líneas

La siguiente Tabla recoge la identificación de las líneas que componen la instalación:

Tabla 4.27. Listado de líneas instalación oxidación

DENOMINACIÓN LÍNEA	FLUIDO	SALE DE:	LLEGA A:	Material	$\Phi$ (mm)	Long (m)
LINEA 101	AIRE ATMOSFÉRICO	ambiente	S-4	-	-	0
LINEA 102	AIRE ATMOSFÉRICO	S-4	LINEA 104	ACERO	125	2
LINEA 103	GAS COMBUSTIÓN	S-3	LINEA 102	ACERO	150	2
LINEA 104	GAS COMBURENTE	LINEA 102	S-1	ACERO	200	4
LINEA 105	GAS COMBURENTE	S-1	LINEA 107	ACERO	200	1
LINEA 106	OXÍGENO	almacenamiento O <sub>2</sub>	LINEA 107	ACERO	40	-
LINEA 106'	OXÍGENO	LINEA 106	LINEA 106	ACERO	40	-
LINEA 107	GAS COMBURENTE	LINEA 105	quemador	ACERO	200	11
LINEA 108	GASOIL	DEPOSITO gasoil	quemador	COBRE	15	25
LINEA 108'	GASOIL	LINEA 108	LINEA 108	COBRE	15	0.5
LINEA 109	GAS COMBUSTIÓN	CA-1	LINEA 111	ACERO	250	2
LINEA 110	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 109	S-3	ACERO	200	3
LINEA 111	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 109	I-2	ACERO	150	2
LINEA 112	GAS COMBUSTIÓN	I-2	LINEA 116	ACERO	150	10
LINEA 113	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 112	LINEA 111	ACERO	150	2
LINEA 114	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 112	PLASMACOL	ACERO	100	1
LINEA 115	GAS COMBUSTIÓN	PLASMACOL	LINEA 112	ACERO	100	1
LINEA 116	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 112	S-2	ACERO	100	1
LINEA 117	GAS COMBUSTIÓN	S-2	LINEA 119	ACERO	100	2

LINEA 118	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 117	lugar seguro	ACERO	100	12
LINEA 118`	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 118	LINEA 118	ACERO	32	3
LINEA 119	GAS COMBUSTIÓN	LINEA 117	E-1	ACERO	100	2
LINEA 120	GAS COMBUSTIÓN	E-1	LINEA 122	ACERO	100	2
LINEA 121	SO <sub>2</sub> / NO / CO <sub>2</sub>	almacenamiento gases	LINEA 122	ACERO	15	-
LINEA 122	GAS PROCESO	LINEA 120	C-1 / C-2	ACERO	100	4
LINEA 123	AGUA	E-1	lugar seguro	ACERO	25	1
LINEA 125	AGUA	CA-1	Arqueta	ACERO	65	14
LINEA 126	AGUA	LINEA 127	Arqueta	ACERO	25	1
LINEA 127	AGUA	Suministro	LINEA 125	ACERO	25	6
LINEA 128	AGUA	D-101	LINEA 127	FLEXIBLE	25	1
LINEA 129	VAPOR / AGUA	CA-1	Arqueta	ACERO	32	6
LINEA 301	AIRE COMPRIMIDO	suministro	quemador	FLEXIBLE - COBRE	15	15 - 1
LINEA 301`	AIRE COMPRIMIDO	LINEA 301	LINEA 301	COBRE	15	1
LINEA 302	AIRE COMPRIMIDO	LINEA 301	PILOTO GAS	FLEXIBLE	15	2
LINEA 303	AIRE COMPRIMIDO	LINEA 301	CÉLULA UV	FLEXIBLE	15	2
LINEA 304	AIRE COMPRIMIDO	LINEA 301	CÉLULA UV	FLEXIBLE	15	2
LINEA 401	GAS BUTANO	almacenamiento gasoil	CA-1	FLEXIBLE	15	-

La Tabla 4.28 recoge el listado de líneas de refrigeración que son utilizadas en la instalación de la caldera de agua caliente:

Tabla 4.28. Listado de líneas instalación oxicomcombustión refrigeración

DENOMINACIÓN LÍNEA	FLUIDO	SALE DE:	LLEGA A:	Material	Φ (mm)	Long (m)
LINEA RP1	AGUA	CA-1	I-1	ACERO	80	6
LINEA RP1`	AGUA	LINEA RP1	Arqueta	ACERO	15	4
LINEA RP2	AGUA	I-1	CA-1	ACERO	80	8
LINEA RP2`	AGUA	LINEA RP2	Arqueta	ACERO	15	4
LINEA 206	AGUA	BR-1	I-1	ACERO	100	26
LINEA 206`	AGUA	LINEA 206	LINEA 206	ACERO	32	3
LINEA 207	AGUA	BR-2	I-2	ACERO	100	29
LINEA 207`	AGUA	LINEA 207	LINEA 207	ACERO	50	6
LINEA 209	AGUA	BR-4	E-1	ACERO	65	29
LINEA 209`	AGUA	LINEA209	LINEA 209	ACERO	32	2
LINEA 211	AGUA	I-1	T-1	ACERO	100	32
LINEA 212	AGUA	I-2	T-1	ACERO	50	35
LINEA 214	AGUA	E-1	T-1	ACERO	65	34

## 4.3.2.3. Válvulas manuales

Tabla 4.29. Listado de válvulas manuales instalación oxicomustión

VÁLVULAS MANUALES GENERACIÓN GASES								
NOMBRE	MV-101	MV-102	MV-103	MV-104	MV-105	MV-106	MV-107	MV-108
LINEA	102	105	110	111	112	113	114	115
PLANO	101	101	101	101	102	102	102	102
DN	150	15	150	150	150	150	100	100
TIPO	fuelle	bolas	fuelle	fuelle	fuelle	fuelle	Mariposa a tipo waffer	Mariposa a tipo waffer
FLUIDO	Aire	Aire	Gas combusti ón	Gas combusti ón				
CONEXIONES	Bridas DIN	Rosca gas	Bridas DIN	Bridas DIN				
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

NOMBRE	MV-109	MV-110	MV-111	MV-112	MV-113	MV-114	MV-115	MV-116
LINEA	119	118	122	RP2	RP1	CA-1	RP1`	RP1`
PLANO	102	102	102	101	101	101	101	101
DN	100	100	100	80	80	50	15	15
TIPO	Mariposa tipo waffer	Mariposa tipo waffer	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas
FLUIDO	Gas combusti ón	Gas combusti ón	Gas combusti ón	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
CONEXIONES	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

NOMBRE	MV-117	MV-118	MV-119	MV-121	MV-122	MV-123	MV-124	MV-125
LINEA	118`	118`	118	106	106	106`	106	106
PLANO	102	102	102	101	101	101	101	101
DN	32	32	100	25	25	25	25	25
TIPO	Mariposa waffer	Mariposa waffer	Mariposa waffer	Bolas	Tres vias	Bolas	Bolas	Bolas
FLUIDO	Gas combusti ón	Gas combusti ón	Gas combusti ón	O <sub>2</sub>				

<b>CONEXIONES</b>	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	rosca gas				
<b>MATERIAL</b>	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

<b>NOMBRE</b>	<b>MV-126</b>	<b>MV-127</b>	<b>MV-128</b>	<b>MV-129</b>	<b>MV-130</b>	<b>MV-131</b>	<b>MV-132</b>	<b>MV-133</b>
<b>LINEA</b>	108	108	108	108`	108	108	108	108
<b>PLANO</b>	101	101	101	101	101	101	103	103
<b>DN</b>	15	15	15	15	15	15	15	15
<b>TIPO</b>	Bolas							
<b>FLUIDO</b>	Gasoil							
<b>CONEXIONES</b>	rosca gas							
<b>MATERIAL</b>	Acero							

<b>NOMBRE</b>	<b>MV-134</b>	<b>MV-135</b>	<b>MV-136</b>	<b>MV-137</b>	<b>MV-138</b>	<b>MV-139</b>
<b>LINEA</b>	108	108	125	126	127	127
<b>PLANO</b>	103	103	101	101	101	101
<b>DN</b>	15	15	25	25	25	25
<b>TIPO</b>	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas	Bolas
<b>FLUIDO</b>	Gasoil	Gasoil	Agua	Agua	Agua	Agua
<b>CONEXIONES</b>	rosca gas	rosca gas	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN
<b>MATERIAL</b>	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

<b>NOMBRE</b>	<b>MV-401</b>	<b>MV-402</b>
<b>LINEA</b>	401	401
<b>PLANO</b>	101	101
<b>DN</b>	15	15
<b>TIPO</b>	Bolas	aguja
<b>FLUIDO</b>	Butano	Butano
<b>CONEXIONES</b>	rosca gas	rosca gas
<b>MATERIAL</b>	Acero	Acero

NOMBRE	MV-301	MV-302	MV-303	MV-304	MV-305	MV-306	MV-307
LINEA	301	301	301`	302	302	303	304
PLANO	103	103	103	103	103	103	103
DN	15	15	15	15	15	15	15
TIPO	Bolas	Bolas	aguja	Bolas	aguja	aguja	aguja
FLUIDO	Aire comp						
CONEXIONES	rosca gas						
MATERIAL	Acero						

Tabla 4.30. Listado de válvulas manuales de refrigeración

VÁLVULAS MANUALES REFRIGERACIÓN							
NOMBRE	MV-201	MV-202	MV-204	MV-205	MV-207	MV-208	MV-210
LINEA	221	201	216	202	217	203	218
PLANO	201	201	201	201	201	201	201
DN	25	100	80	50	40	50	40
TIPO	Bola	Bola	Bola	Bola	Bola	Bola	Bola
FLUIDO	Agua red	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
CONEXIONES	Roscada	Roscada	Roscada	Roscada	Roscada	Roscada	Roscada
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

NOMBRE	MV-211	MV-213	MV-214	MV-216	MV-217	MV-218	MV-219
LINEA	204	219	205	220	222	224	211
PLANO	201	201	201	201	201	201	101
DN	65	50	50	40	80	1	100
TIPO	Bola						
FLUIDO	Agua						
CONEXIONES	Roscada						
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero	PVC	Latón	Acero

NOMBRE	MV-220	MV-221	MV-222	MV-223	MV-224	MV-225	MV-226
LINEA	206	206	206	212	207	214	209
PLANO	102	101	101	102	102	102	102
DN	100	32	32	50	100	65	65
TIPO	Bola						

<b>FLUIDO</b>	Agua						
<b>CONEXIONES</b>	Roscada						
<b>MATERIAL</b>	Acero						

<b>NOMBRE</b>	<b>MV-227</b>	<b>MV-228</b>	<b>MV-229</b>	<b>MV-230</b>	<b>MV-231</b>	<b>MV-232</b>	<b>MV-232</b>
<b>LINEA</b>	208	213	213	213	210	215	201
<b>PLANO</b>	003	003	003	003	005	005	201
<b>DN</b>	50	50	50	50	50	50	25
<b>TIPO</b>	Bola						
<b>FLUIDO</b>	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua red
<b>CONEXIONES</b>	Roscada						
<b>MATERIAL</b>	Acero						

Tabla 4.31. Listado de válvulas antirretorno instalación oxicomcombustión

<b>VÁLVULAS ANTIRRETORNO GENERACIÓN DE GASES</b>	
<b>NOMBRE</b>	<b>AR-101</b>
<b>LINEA</b>	108
<b>PLANO</b>	101
<b>DN</b>	15
<b>TIPO</b>	Antirretorno
<b>FLUIDO</b>	Gasoil
<b>CONEXIONES</b>	rosca
<b>MATERIAL</b>	Acero

Tabla 4.32. Listado de válvulas antirretorno refrigeración

<b>VÁLVULAS ANTIRRETORNO REFRIGERACIÓN</b>							
<b>NOMBRE</b>	<b>AR-201</b>	<b>AR-202</b>	<b>AR-203</b>	<b>AR-204</b>	<b>AR-205</b>	<b>AR-206</b>	<b>AR-207</b>
<b>LINEA</b>	211	212	213	214	215	-	-
<b>PLANO</b>	201	201	201	201	201	201	201
<b>DN</b>	100	50	65	50	50	10	10
<b>TIPO</b>	Antirretor no	Antirretor no	Antirretor no	Antirretor no	Antirretor no	Antirretor no	Antirretor no
<b>FLUIDO</b>	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Inhibidor corrosión	Biocida
<b>CONEXIONES</b>	Bridas DIN	Bridas DIN					
<b>MATERIAL</b>	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

Tabla 4.33. Listado de válvulas seguridad instalación oxicomcombustión

VÁLVULAS DE SEGURIDAD GENERACIÓN DE GASES		
NOMBRE	PSV-101	PSV-102
LINEA	CA-1	CA-1
PLANO	101	101
DN	80	80
TIPO	Seguridad	Seguridad
FLUIDO	Vapor / Agua	Vapor / Agua
CONEXIONES	Bridas DIN	Bridas DIN
MATERIAL	Acero	Acero

La instalación de refrigeración carece de válvulas de seguridad al no trabajar ninguno de los equipos a presiones excesivas ni a condiciones operativas que requieran la instalación de dichas válvulas.

#### 4.3.2.4. Válvulas control

Tabla 4.34. Listado de válvulas control instalación oxicomcombustión

VÁLVULAS DE CONTROL DE GASES					
NOMBRE	FV-101	FV-103	FV-104	FV-105	EVR-301
LINEA	102	118`	107	108	301
PLANO	101	101	101	101	103
DN	150	200	125	15	15
TIPO	Control	Control	Control	Control	Electroválvula
FLUIDO	Aire	Gas combustión	Gas combustión	Gasoil	Aire comp
CONEXIONES	Bridas DIN	Rosca gas	Bridas DIN	Bridas DIN	rosca gas
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero

Tabla 4.35. Listado de válvulas control refrigeración

VÁLVULAS DE CONTROL DE REFRIGERACIÓN			
NOMBRE	TV-101	TV-102	TV-103
LINEA	206`	207`	209`
PLANO	101	102	102
DN	100	32	32
TIPO	Control	Control	Control
FLUIDO	Agua	Agua	Agua
CONEXIONES	Bridas DIN	Bridas DIN	Bridas DIN
MATERIAL	Acero	Acero	Acero

Tabla 4.36. Listado de electroválvulas oxcombustión

ELECTROVÁLVULAS GENERACIÓN DE GASES							
NOMBRE	EV-101	EV-102	EV-103	EV-104	EV-301	EV-401	EV-402
LINEA	105	106	108	108	301`	401	401
PLANO	101	101	101	101	103	101	101
DN	15	25	15	15	15	15	15
TIPO	Electroválvula						
FLUIDO	Gas Combustión	O <sub>2</sub>	Gasoil	Gasoil	Aire comp	Butano	Butano
CONEXIONES	rosca gas						
MATERIAL	Acero						

#### 4.3.2.5. Instrumentación

A continuación se resumen toda la instrumentación (transmisores e indicadores) de las principales variables de proceso. En las tablas están indicadas las características principales de cada instrumento. En este caso se han agrupado todos los instrumentos que componen la instalación de oxcombustión, el quemador, el sistema de refrigeración y la caldera de agua caliente

Tabla 4.37. Listado transmisores de temperatura

TRANSMISORES E INDICADORES DE TEMPERATURA GENERACIÓN DE GASES Y REFRIGERACIÓN						
ITEM	TT-101	TT-102	TT-103	TT-104	TIT-105	TT-107
EQUIPO/LÍNEA	Línea 104	Línea 109	Línea 206	Línea 211	Línea RP-1	Línea 112
Nº PLANO	101	101	101	101	101	102
FLUIDO	Aire-Gas Combustión /G	Gas Combustión n/G	Agua /L	Agua /L	Agua /L	Gas Combustión n/G
PRESIÓN MÁXIMA (bar(g))	2	5	5	5	5	2
RANGO DE MEDIDA (°C)	0-300		0-100	0-100		0-200
LONGITUD DE LA SONDA (mm)	150		100	100		125
CONEXIÓN A PROCESO	Rosca 1/2" Macho GAS	Rosca 1/2" Macho GAS	Rosca 1/2" Macho GAS	Rosca 1/2" Macho GAS	Rosca 1/2" Macho GAS	Rosca 1/2" Macho GAS
MATERIALES	Ac. Inox		Ac. Inox	Ac. Inox		Ac. Inox
TRANSMISOR	TMT 181		TMT 181	TMT 181		TMT 181
SEÑAL DE SALIDA	4-20 mA		4-20 mA	4-20 mA		4-20 mA
MEDIDA	Gas recirculado + aire	entrada agua fria l-1	entrada agua fria l-1	salida agua fria l-1	salida agua caldera	Suministro caldera

TRANSMISORES E INDICADORES DE TEMPERATURA GEN. GASES Y REFRIGERACIÓN					
ITEM	TT-108	TIT-109	TIT-110	TIT-111	TT-201
EQUIPO/LÍNEA	Línea 120	Línea RP-2	CA-1	CA-1	Línea 211
Nº PLANO	102	101	101	101	201
FLUIDO	Gas Combustión /G	Agua /L	Agua /L	Agua /L	Agua/L
PRESIÓN MÁXIMA (bar(g))	2	5	2	2	5
RANGO DE MEDIDA (°C)	0-100				0-100
LONGITUD DE LA SONDA (mm)	100				100

<b>CONEXIÓN A PROCESO</b>	Rosca 1/2" Macho GAS				
<b>MATERIALES</b>	Ac. Inox				Ac. Inox
<b>TRANSMISOR</b>	TMT 181				TMT 181
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>	4-20 mA				4-20 mA
<b>MEDIDA</b>	gas a proceso	entrada agua caldera	hogar caldera	hogar caldera	retorno agua a torre

Tabla 4.38 Listado transmisores de presión

TRANSMISORES E INDICADORES DE PRESIÓN GENERACIÓN DE GASES Y REFRIGERACIÓN						
ITEM	PI-101	PI-102	PI-103	PI-104	PI-105	PI-106
<b>EQUIPO/LÍNEA</b>	Línea 105	Línea 106	Línea 106	Línea 108	Línea 108	Línea 108
<b>Nº PLANO</b>	101	101	101	101	103	103
<b>FLUIDO</b>	Gas Comburent e/G	O2	O2	Gasoil	Gasoil	Gasoil
<b>TEMPERATURA MÁXIMA(°C)</b>	150			50	50	50
<b>RANGO DE MEDIDA (bar(g))</b>	0-0.16			0-4	0-4	0-4
<b>TIPO DE MEDIDA</b>	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa
<b>CONEXIÓN A PROCESO</b>	Manguito soldado	1/2" Macho Gas	1/2" Macho Gas	3/8" MachoG	3/8" MachoG	3/8" MachoG
<b>MATERIALES</b>	AISI 316 L	AISI 316 L	AISI 316 L	AISI 316 L	AISI 316 L	AISI 316 L
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>	-	-	-	-	-	-
<b>COMENTARIO</b>	Gas Comburent	regulación O2 a proceso	regulación O2 a proceso	gasoil	gasoil	gasoil

TRANSMISORES E INDICADORES DE PRESIÓN GENERACIÓN DE GASES Y REFRIGERACIÓN				
ITEM	PI-105	PIT-106	PT-104	PI-401
EQUIPO/LÍNEA	Línea 108	RP-1	Línea 122	Línea 401
Nº PLANO	101	101	102	101
FLUIDO	Gasoil/L	Agua/L	Gas Combustión/G	butano/G
TEMPERATURA MÁXIMA(°C)	50	100	100	50
RANGO DE MEDIDA (bar(g))	0-4		0-3	0-0.25
TIPO DE MEDIDA	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa	Presión relativa
CONEXIÓN A PROCESO	3/8" Macho Gas	1/2" Macho Gas	1/2" Macho Gas	
MATERIALES	AISI 316 L	AISI 316 L	304	AISI 316 L
SEÑAL DE SALIDA	-	4-20 mA	4-20 mA	-
MEDIDA	gasoil	salida agua caldera	gas a proceso	piloto de gas

Tabla 4.39. Listado transmisores de caudal

TRANSMISORES E INDICADORES DE CAUDAL GENERACIÓN DE GASES Y REFRIGERACIÓN					
ITEM	FT-100	FT-101	FT-103	FT-104	FIT-105
EQUIPO/LÍNEA	Línea 106`	Línea 102	Línea 122	Línea 107	Línea 108
Nº PLANO	101	101	102	101	101
FLUIDO	O2/G	Aire Atmosférico/G	Gas Combustión/G	Gas Combustión/G	Gasoil/L
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	NO	SÍ	SÍ	SI	SÍ
TEMPERATURA MÍN/MÁX(°C)	50	50	100	150	50
PRESIÓN MÁXIMA (bar(g))		2	2	2	4
RANGO DE MEDIDA (m3/h)	0-300 (Nm3/h)	100-1650	40-750		programa ble
CONEXIÓN A PROCESO	ROSCA	Brida DIN DN100 PN40	Brida DIN DN50 PN40	1/2" rosca GAS	rosca
MATERIALES	Ac. Inox	316 L	316 L	Ac. Inox	
SEÑAL DE SALIDA	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
MEDIDA	O2	Aire Atmosférico	gas proceso	gas comburente	Gasoil

Tabla 4.40. Listado de presostatos y controladores de presión

PRESOSTATOS Y CONTROLADORES DE PRESIÓN GENERACIÓN DE GASES Y REFRIGERACIÓN					
ITEM	PC-101	PR-101	PR-102	PR-103	PR-401
EQUIPO/LÍNEA	Línea 108	Línea 105	Línea 106	Línea 108	Línea 401
Nº PLANO	101	101	101	101	101
FLUIDO	Gasoil/G	Gas combustión/G	O2/G	Gasoil/G	Butano/G
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	SI	SI	NO	SI	NO
TEMPERATURA MÍN/MÁX(°C)	50	150		50	50
PRESIÓN RANGO(bar(g))	0-2	0.01-0.15		0-2	
CONEXIÓN A PROCESO	rosca 3/8	manguito soldado	rosca	rosca 3/8	
SEÑAL DE SALIDA	-	-	-	-	-
MEDIDA	Gasoil	Gas comburente	O2	Gasoil	Gas piloto

Tabla 4.41. Listado transmisores de O<sub>2</sub>

SONDAS DE O <sub>2</sub>		
ITEM	AT-101	AT-102
EQUIPO/LÍNEA	Línea 107	Línea 109
Nº PLANO	101	101
FLUIDO	Comburente/G	Gas combustión/G
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	Poco Probable	SI
TEMPERATURA MÍN/MÁX(°C)	200	250
PRESIÓN RANGO(bar(g))	0-100	0-100
CONEXIÓN A PROCESO	Rosca 1"	Brida DN50
SEÑAL DE SALIDA	4-20 mA	4-20 mA
MEDIDA	Concentración O <sub>2</sub>	Concentración O <sub>2</sub>