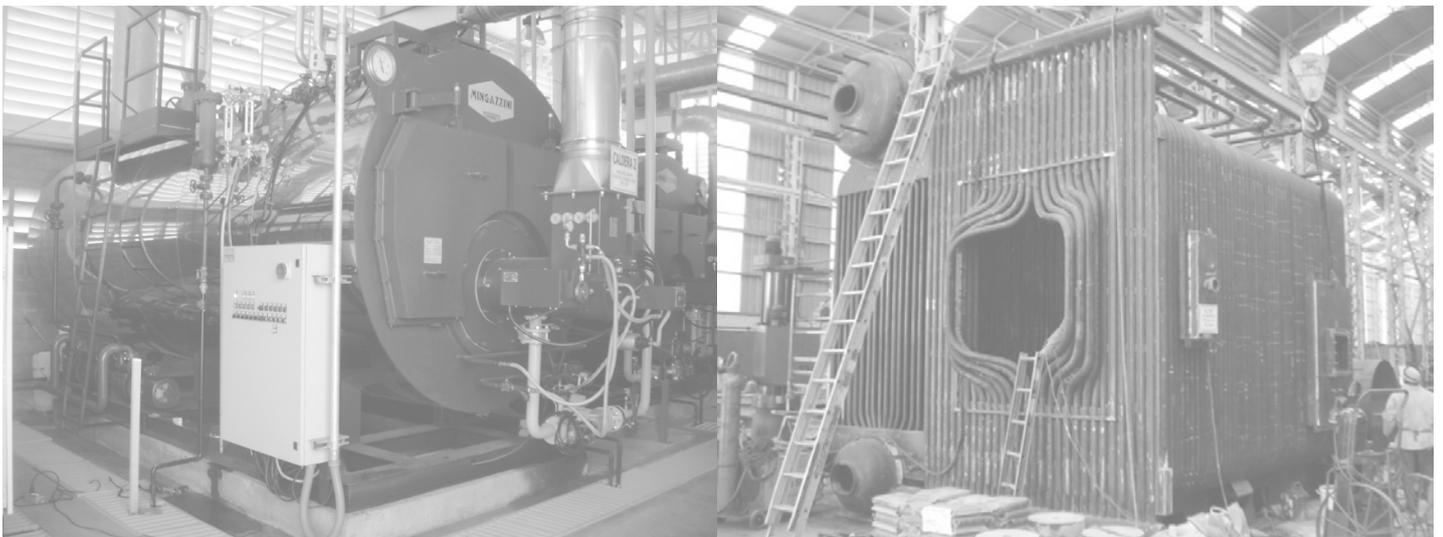


Generadores de vapor

Descripción, especificaciones, tratamientos y costos



Índice

1.	GENERADORES DE VAPOR	3
1.1.	Generalidades	3
1.2.	Clasificaciones	3
1.2.1	Según la circulación del fluido dentro de los tubos de la caldera	3
1.2.2	Según la presión de trabajo:	3
1.2.3	Según su producción de vapor:	4
1.2.4	Según el combustible utilizado:	4
1.2.5	Según la circulación de agua dentro de la caldera:	4
1.3.	Calderas Humotubulares	5
1.3.1	De retorno horizontal	6
1.3.2	Marina-Escocesa	7
1.4.	Calderas Acuotubulares	9
2.	SELECCIÓN Y CONTROL	13
2.1.	Elementos de seguridad y control	13
2.1.1	Control:	13
2.1.2	Seguridad:	13
2.2.	Selección:	14
3.	TRATAMIENTO DE AGUA	16
3.1.	Tratamiento externo	16
3.1.0.1	Generalidades	16
3.1.0.2	Incrustaciones	16
3.1.0.3	Arrastre	17
3.1.0.4	Corrosión	17
3.1.0.5	Eliminación de la dureza	17
3.1.1	Resinas de intercambio iónico	19
3.1.1.1	Generalidades	19
3.1.1.2	Tipos de resinas de intercambio	19
3.1.1.3	Desionización de lecho mixto	21
3.1.1.4	Ciclos de resinas	22
3.1.2	Ósmosis inversa	23
3.1.2.1	Generalidades	23
3.1.2.2	Tipos de membranas	23
3.1.2.3	Limpieza de membranas	24

3.1.2.4	Pretratamiento	24
3.1.3	Desaireadores.....	26
3.2.	Tratamiento interno.....	27
3.2.1	Generalidades	27
3.2.2	Dureza y fosfatos	27
3.2.3	Acondicionadores de lodos.....	27
3.2.4	Gases disueltos	27
3.2.5	Control de pH	28
3.2.6	Alcalinidad	28
3.2.7	Sólidos disueltos y conductividad	28
4.	COSTO DEL GENERADOR DE VAPOR.....	30
4.1.	Tratamiento de datos	30
5.	CONCLUSIÓN.....	31
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
7.	ANEXOS.....	33
Anexo 1-1:	EJEMPLO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BERKES.....	33
Anexo 1-2:	EJEMPLO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TFU	45
Anexo 2-1:	EJEMPLO P&ID HUMOTUBULAR	61
Anexo 2-2:	EJEMPLO P&ID ACUOTUBULAR.....	62

1. GENERADORES DE VAPOR

1.1. Generalidades

Definición de caldera:

Recipiente de presión cerrado en el que el fluido es calentado para su uso posterior, externo, por la aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por el uso de energía eléctrica o energía nuclear.

Boiler Operators Guide (Mc Graw-Hill)

1.2. Clasificaciones

Se pueden clasificar de distintas formas:

1.2.1 Según la circulación del fluido dentro de los tubos de la caldera.

(Cuando se generan gases de combustión):

- **Humotubulares, pirotubular o de tubos de humo.**

En estas calderas los humos (o gases provenientes de la combustión) pasan por dentro de los tubos mientras que el agua se calienta en el exterior de ellos.

- **Acuotubulares o de tubos de agua.**

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente en flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la combustión.

En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

- **Híbridas.**

Constan de una primera etapa acuotubular en la que el hogar está cubierto por tubos de agua, para luego llevarla a una segunda etapa humotubular, siendo así más eficiente la transferencia de calor a costo de un mayor tamaño del equipo.

1.2.2 Según la presión de trabajo:

- **Baja presión :** hasta 5 Kg*/cm²

Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente

- **Media presión :** de 5 - 20 Kg*/cm²

Generalmente vapor saturado, utilizadas en la industria en general

- **Alta presión :** de 20 - 220 Kg/cm² (aproximadamente)

Asociadas a ciclos de potencia, hasta presiones cercanas a la crítica

- **Supercríticas:** superiores a 225,56 ata; 374,15°C.

Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

1.2.3 Según su producción de vapor:

- Chicas: hasta 2 toneladas por hora
- Medianas: hasta 20 toneladas por hora
- Grandes: producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

1.2.4 Según el combustible utilizado:

(Sólo combustión. No eléctricas ni a Energía Nuclear))

- Combustibles líquidos (fuel oil, gas oil, etc.)
- Combustibles gaseosos (GN, GLP, gases de gasificaciones, etc.)
- Combustibles sólidos (biomasa, carbón, etc.).

1.2.5 Según la circulación de agua dentro de la caldera:

- Circulación natural: el agua y la mezcla agua-vapor se mueve por gradiente térmico
- Circulación asistida: la circulación natural en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito. Se utiliza en aquellos caso en que la diferencia entre las densidades del fluido frío y del caliente no es demasiado grande, típicamente para presiones superiores a los 140-160 bar.
- Circulación forzada: el agua se hace circular mediante bombas.

1.3. Calderas Humotubulares

En los primeros diseños, la caldera era simplemente un casco o tambor con una línea de alimentación y una salida de vapor montado sobre una caja o soporte de ladrillos. El combustible era quemado sobre una parrilla debajo del casco y el calor liberado era aplicado directamente a la parte inferior del recipiente antes de que los gases salieran por la chimenea.

Los diseñadores de calderas muy pronto aprendieron que calentar una gran masa de líquido en un recipiente era notoriamente ineficiente, que era necesario poner una mayor porción de esa agua en contacto con el calor.

Una manera de lograr esto era dirigir los gases de la combustión dentro del recipiente o casco de la caldera. Este diseño dio origen a las calderas humotubulares. Este nombre se debe a que en ellas el calor es transferido desde los gases de combustión, que fluyen por el interior de los tubos, hacia el líquido que los rodea.

Ver figura.

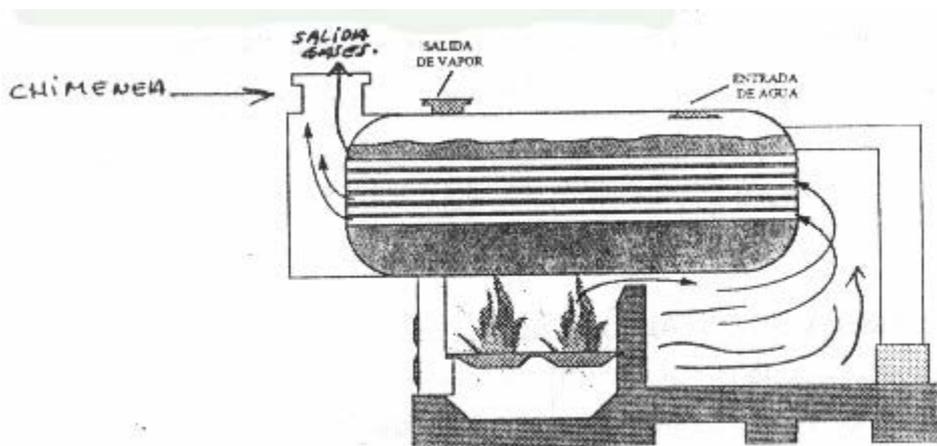


Figura N° 1.1: Caldera humotubular de un solo paso.

El combustible es normalmente quemado debajo del casco y los gases son orientados a entrar en los tubos que se hallan en el interior del tambor de agua, haciendo su recorrido en uno o más pasos. El vapor o el líquido caliente sale por la parte superior del recipiente y la entrada de agua está por encima de la hilera de tubos más alta.

Las altas presiones son una de las mayores limitantes de estas calderas. La fuerza que se ejerce a lo largo del tambor es dos veces la fuerza que se ejerce alrededor de la circunferencia. De lo anterior se deduce que para altas presiones y mayores capacidades se necesitarían paredes extremadamente gruesas, lo que las hace muy costosas.

Aunque su gran capacidad de almacenamiento de agua le da habilidad para amortiguar el efecto de amplias y repentinas variaciones de carga, este mismo detalle hace que el tiempo requerido para llegar a la presión de operación desde un arranque en frío sea considerablemente más largo que para una caldera acuotubular.

Una presión de 20 Kg²/cm² y una producción hasta de 30.000 kg/h son considerados los topes prácticos para este tipo de calderas. Esto las hace recomendables para servicios donde la demanda de vapor sea relativamente pequeña.

Existen varios modelos de calderas humotubulares siendo las principales por su eficiencia y su desarrollo, las de retorno horizontal para combustibles sólidos y las de horno interno o tipo marina-escocesa para combustibles líquidos y gaseosos.

1.3.1 De retorno horizontal.

Son calderas de un bajo costo inicial y de simple construcción, muy usadas en sistemas de calentamiento de edificios y producción de vapor para industrias pequeñas.

Consisten de un casco cilíndrico con gruesas paredes terminales entre las cuales se encuentra soportado un gran número de tubos, esto da mayor superficie de transferencia y por ende mayor generación de vapor.

La caldera está soportada sobre unos muros de ladrillo en un horno. La parrilla o quemadores están localizados directamente debajo del casco o tambor.

Últimamente se ha enfocado en el desarrollo de parrillas la combustión del sólido y la extracción de cenizas del hogar.



Figura N° 1.2: Parrillas.

1.3.2 Marina-Escocesa

Llamada también de horno interno, la combustión tiene lugar en un horno cilíndrico que se encuentra dentro del casco o tambor de la caldera. Los tubos de humo están a lo largo del casco y envuelven al horno por los lados y su parte superior.

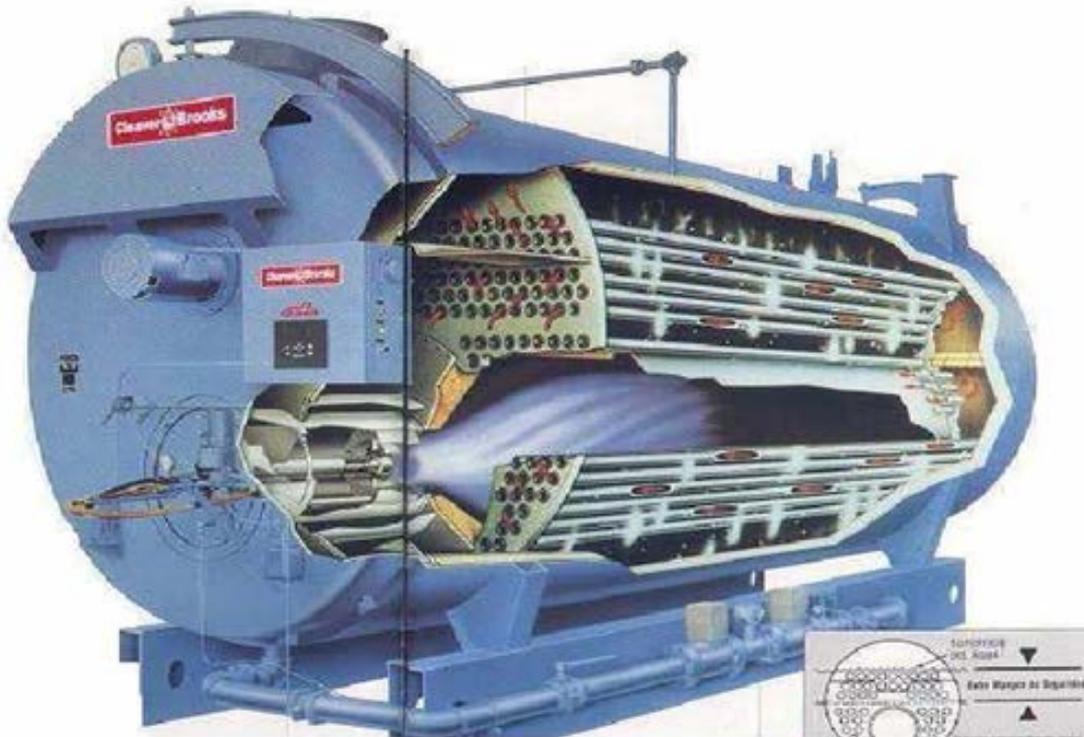


Figura N° 1.3: Caldera humotubular tipo Marina-Escocesa.

Los gases que salen del horno cambian de dirección en una cámara en el extremo y regresan, recorriendo completamente la unidad tantas veces como pases contenga, luego pasan una caja de humos para finalmente la salida de gases de la caldera. Este tipo de caldera fue muy utilizado en los barcos, de ahí su nombre.

Componentes fundamentales

Los componentes que forman las calderas humotubulares son los siguientes:

- **Envolvente exterior**

Este elemento es de forma cilíndrica y es el encargado de contener los fluidos (líquido/vapor) y evitar que estos salgan al exterior. En la misma va montados los aparatos de control y supervisión, tales como los controles de nivel, los indicadores ópticos de nivel y orificios de inspección del lado de agua, etc.

- **Cámara de combustión u hogar de combustión**

La cámara de combustión, de construcción cilíndrica y disposición horizontal, puede fabricarse en ejecución lisa u ondulada, en función del tamaño de la caldera y de la presión de trabajo de la misma. Es la encargada de contener la llama del quemador e iniciar el intercambio de energía por radiación. Puede ser hogar céntrico o excéntrico, en ocasiones que se requieran grandes producciones pueden existir 2 hogares excéntricos.

- **Cámara de inversión de gases (solo en las calderas de tres pasos de gases).**

Este elemento es el encargado de reconducir los gases de la combustión hacia el haz tubular o II (2º) paso de gases, haciendo cambiar de dirección a los mismos. Por regla general, esta cámara está totalmente refrigerada por agua, y construida de forma cilíndrica y horizontal. En calderas de bajo rendimiento, uno de los dos fondos no está refrigerado por agua, sino que lo está de una mampostería de cemento refractario.

- **Fondo delantero y trasero exterior.**

De forma circular, van soldados a la envolvente exterior y, al igual que ésta, evitan que los fluidos salgan al exterior. En estas piezas van soldados los tubos de humos del II (2º) y III (3º) paso de gases, así como puertas de registro e inspección y cajones recolectores de gases.

- **Fondo delantero y trasero interior (solo en calderas de tres (3) pasos de gases).**

De forma circular, van soldados a la envolvente de la cámara de inversión. Su misión es la de contener los productos de la combustión. En el fondo delantero van soldados los tubos de segundo paso de gases y en el fondo trasero van soldados entre éste y el fondo trasero exterior unos tubos huecos (tubos stay) para dar al conjunto robustez y flexibilidad. Figura

- **Haz tubular (de 1 o 2 secciones en función de las calderas de 2 o 3 pasos de gases).**

Son conjuntos formados por una cantidad variable de tubos, por los cuales circulan los gases de la combustión por su interior. Son los encargados de la transmisión por convección. El hogar es el 1º paso.

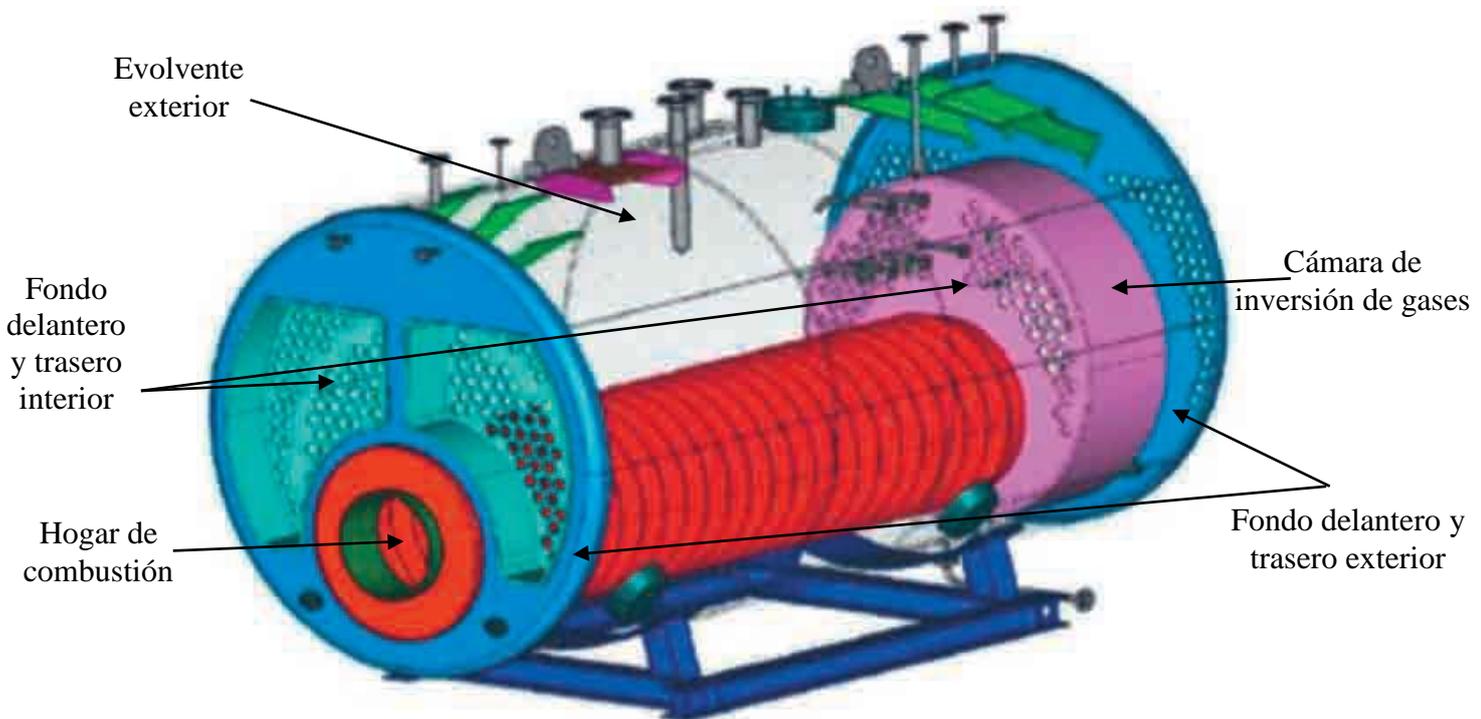


Figura N° 1.4: Caldera Marina-Escocesa, componentes fundamentales.

1.4. Calderas Acuotubulares

Los componentes que forman las calderas acuotubulares son los siguientes:

- **Domo superior.**

Es de forma cilíndrica y en su interior se contienen los dos fluidos (líquido / vapor). Al ser de dimensiones reducidas, se le ha de dotar de separadores de gotas para elevar el título de vapor. Al igual que en la envolvente exterior de las calderas humotubulares, en el domo van ensambladas los elementos de control, supervisión y servicio.

- **Cámara de combustión u hogar de combustión.**

Es la zona diseñada para que se realice la combustión. Está delimitada en sus seis lados por paredes de membrana o tubos que, excepto en una de ellas, el resto son totalmente estancas al paso de los gases de combustión al exterior.

La pared que no es totalmente estanca está diseñada para que los gases salgan del hogar e inicien su camino a través de los diferentes componentes del circuito de gases de la caldera, además de producir el cambio en la dirección de los gases.

Existen varias configuraciones de hogares pero generalmente son pequeñas variaciones de los diseños básicos: Calderas tipo A, tipo O y tipo D.

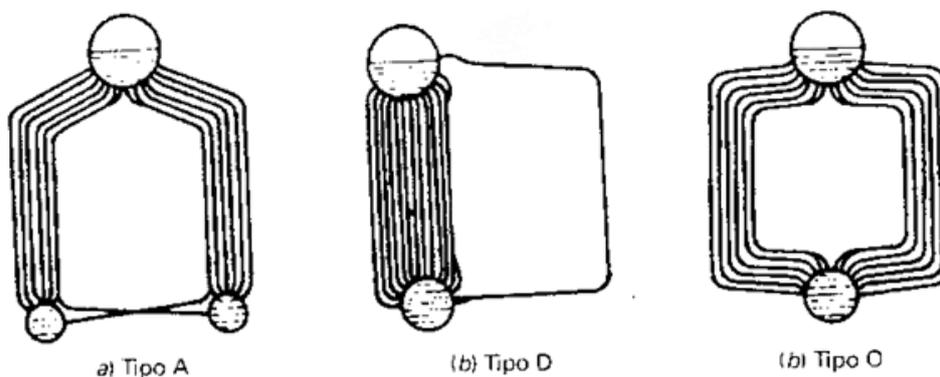


Figura N° 1.5: Tipos principales de calderas acuotubulares. a) Tipo A, b) Tipo D, c) Tipo O.

- **Paredes de agua o membrana.**

Son las formadas en su totalidad de tubos refrigerados por el agua que circula por su interior. Estos tubos están unidos entre sí por medio de soldadura de estanqueidad en el lado de gases y, a su vez, colectores distribuidores de mayor tamaño en el lado de agua.

- **Tubos de subida y bajada.**

Los tubos de subida son los encargados de llevar el fluido más caliente (por diferencia de temperaturas) de todas las zonas de la caldera al domo.

Los tubos de bajada son los encargados de devolver el fluido que se ha enfriado desde el domo superior al colector o domo inferior.

- **Equipos de recuperación de calor**

Cuando los gases dejan la sección de absorción de la caldera, contienen todavía una gran cantidad de calor que si no se recobrara sería una de las más grandes pérdidas en la unidad.

Una sustancial porción de ese calor puede ser recuperado con la adición de accesorios como economizadores o calentadores de aire con el consecuente aumento en la eficiencia de la unidad.

- **Economizadores.**

Consiste en hacer pasar los gases por un intercambiador llamado economizador para recalentar el agua de alimentación.

El economizador calienta el agua de alimentación, acercándola a la temperatura del agua que está en el colector, produciendo un aumento cercano al 1% en la eficiencia de la caldera.

El economizador puede estar situado dentro de la caldera, como parte de la zona de convección, o puede ser externo por razones de espacio.

- **Calentadores de aire.**

La recuperación final de calor tiene lugar en el calentador de aire. Aquí, la temperatura de los humos es rebajada hasta un valor muy cercano al punto de rocío del anhídrido sulfuroso/sulfúrico, la misma varía dependiendo del contenido de azufre de los combustibles, para impedir su condensación y formación de ácido sulfúrico.

En el caso que el combustible no contenga azufre la temperatura puede ser rebajada hasta el punto de rocío del agua. Estos puntos son los límite más bajo de operación.

El uso de calentadores de aire en unidades que consuman combustibles como carbón, gas, aceite, y con similares condiciones en el hogar, produce un incremento en su eficiencia cercano al 2.5% por cada 38°C (100°F) que se disminuya la temperatura de los humos.

Visto desde el lado aire, esto significa una ganancia de 2% por cada 38°C (100°F) que se incremente la temperatura del aire. Los calentadores de aire pueden ser clasificados en dos tipos, tubulares o regenerativo

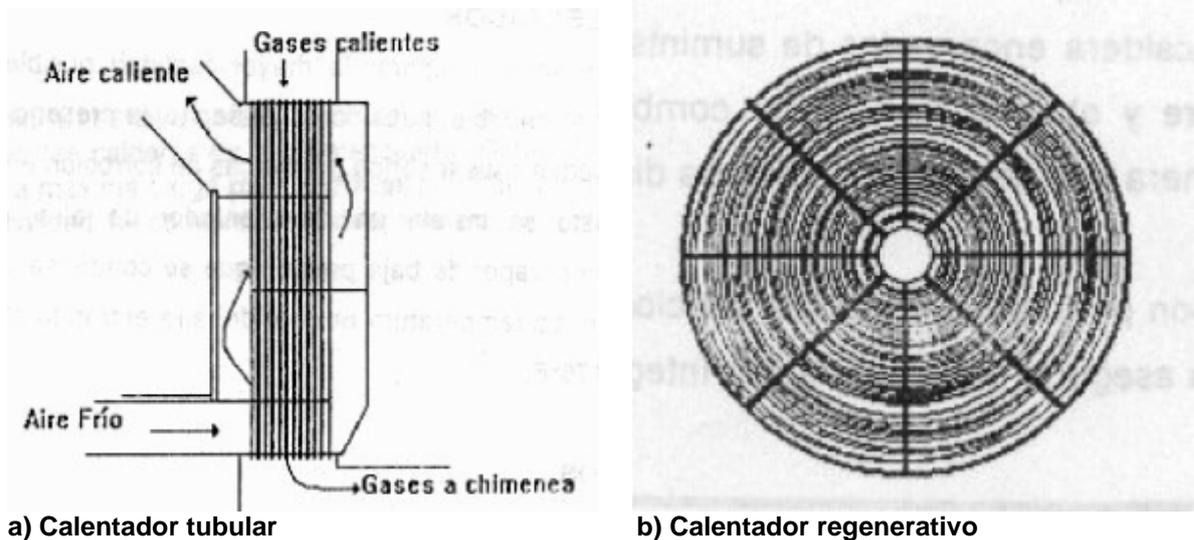


Figura N° 1.6: a) **tubulares:** Los gases fluyen en solo paso a través de los tubos y el aire fluye en contracorriente cruzando los tubos por su parte exterior en uno o más pasos.

b) **regenerativos:** Consiste de un rotor que gira a una velocidad de 2 a 3 R.P.M. Este rotor o eje tiene acopiadas unas canastas. Una mitad de este conjunto se calienta con los gases mientras la otra mitad, previamente calentada, cede el calor al aire que entra.

- **Sobrecalentadores o recalentadores.**

Es un equipo que ofrece una superficie de absorción de calor por medio de la cual se eleva la temperatura del vapor por encima de su punto de saturación.

Una de las razones más importantes es que el vapor sobrecalentado tiene menos tendencia a condensarse en las últimas etapas de las turbinas.

El sobrecalentador debe entregar el vapor a una temperatura uniforme dentro de un amplio rango de variaciones de carga. Para su diseño se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Temperatura requerida del vapor.

Superficie requerida para lograrla.

Temperatura de los gases.

Tipo de material de los tubos.

Existen de varias formas y tipos. La manera más práctica de clasificarlos es teniendo en cuenta su posición dentro de la caldera. Según ella los sobrecalentadores pueden ser:

De convección

En él, el vapor absorbe el calor de los gases calientes, cuando estos pasan sobre la superficie de sus tubos. La temperatura del vapor tiende a elevarse con los aumentos de carga porque el volumen de gases se incrementa más rápido que el flujo de vapor dentro de los tubos.

De radiación

Puede estar localizado en el piso, en las paredes o en el techo del hogar de la caldera, reciben así el calor intenso por radiación directa. Como el calor absorbido por las paredes del hogar no aumenta tan rápidamente como la producción de la caldera, la temperatura de salida del sobrecalentador radiante disminuye al aumentar la producción de la caldera.

En ciertos casos, las dos curvas de variación de la temperatura, que tienen pendientes opuestas, correspondientes a los sobrecalentadores de convección y radiación, se pueden compensar combinando en serie ambos tipos de sobrecalentadores, obteniéndose para la temperatura del sobrecalentador una curva plana, en amplios márgenes de carga

De fuego separado o externo

Son usados cuando no es práctico tener un sobrecalentador dentro de la caldera, por ejemplo, donde el vapor es generado en un intercambiador de calor o evaporador en algún sistema de recuperación de calor de un proceso químico. Normalmente tienen un horno separado.

- **Deshollinado.**

Existen calderas están equipadas con sopladores de hollín, los cuales sirven para mantener la superficie expuesta de los tubos limpia y libre de material que pudiera afectar la transferencia de calor. Se utiliza vapor para el soplado del hollín y la frecuencia de la operación depende del combustible usado.

Existen dos tipos de sopladores de hollín; los fijos o estacionarios y los retráctiles.

- **Quemadores**

Son los elementos de la caldera encargados de suministrar y acondicionar el combustible para mezclarlo con el aire y obtener una buena combustión. Deben producir una llama estable y uniforme de manera que se realice una cierta distribución en el hogar.

- Los quemadores de gas son perforados y por sus orificios el gas debe salir a una velocidad mayor que la del aire para asegurar una penetración íntegra del chorro de aire.
- En los quemadores de líquidos, este debe ser atomizado para aumentar la superficie de contacto con el aire. Se encuentran comúnmente 3 tipos de atomizaciones
 1. Los atomizadores que emplean la presión para inyectar el chorro de combustible: *toberas con orificio central, de presión con y sin retorno, de presión con ranuras regulables, de pistón, y de doble circuito de presión.*
 2. Los atomizadores que emplean un fluido auxiliar como agente pulverizador: *De aire o vapor a alta presión, a media presión y a baja presión.*
 3. Atomizadores que emplean la fuerza centrífuga: *discos giratorios o copas rotatorias*

- En el caso de los combustibles sólidos la quema directa en hogar se utiliza en calderas híbridas y acuotubulares pequeñas, ya en los casos de gran porte se utilizan opciones como pirolisis o cámaras de mezclado donde el combustible es mezclado con aire para ser quemado y conseguir una llama para introducirla en un hogar como los mencionados anteriormente. También existen opciones como parrillas especiales, recolección de cenizas; dependiendo del combustible las cenizas pueden ser revaloradas.

2. SELECCIÓN Y CONTROL

2.1. Elementos de seguridad y control

Existen diversos elementos de seguridad y control con diferentes requerimiento., Los mismos se determinan de acuerdo a las exigencias del servicio requerido. Desde elementos que controlan mediante On/Off hasta moduladores que regulan las acciones para evitar variaciones bruscas del parámetro a controlar. Por lo general se conectan a un PLC para su control y monitoreo.

2.1.1 **Control:**

Por nivel de agua

- Nivel visual: tubo en parte lateral superior del domo conectado al interior, en ella se puede ver dónde está el nivel de agua.
- Magnéticos: La fuerza de flotación actúa sobre una boya esférica; con los cambios de nivel de agua mueve un vástago verticalmente dentro de una camisa metálica no magnética, que, sin hacer contacto directo, atrae un imán en el mecanismo del interruptor obligándolo a dispararse. El interruptor vuelve a cambiar de estado cuando el vástago sale del campo magnético del imán. Gracias a este fenómeno de atracción magnética, el control donde está alojado el mecanismo del interruptor permanece aislado del interior de la caldera.
- Tipo McDonnell: Para calderas de vapor de baja y media presión, para cualquier capacidad de vapor. Posee un contactor el cual se activa en los extremos de bajo y alto nivel de agua.
- Electrodo: Posee terminales de diferentes tamaños, dependiendo de la configuración, Indica diferentes propiedades si está en la fase líquida o la de vapor.
- Presión diferencial: Este sistema realiza tomas directas en la caldera, (una en la zona de vapor y otra en la de líquido) utiliza la diferencia de presión entre las 2 tomas para calcular el nivel dentro de la caldera.

De presión

- Manómetros
 - Tipo Bourdon
 - Columna de agua
 - Sensores o transductores de presión
- Presóstatos

Elementos de control de la combustión

- . Relevadores de llama
 - Focélulas
 - Radiación ultra violeta
 - Radiación infrarroja
 - Varilla ionizante
- Temperatura de humos: Termómetros bi-metálicos, termosensores, termocuplas, etc.
- Composición de humos: Analizadores de humo

2.1.2 **Seguridad:**

- Por bajo nivel de agua
 - Nivel de seguridad en el controlador de nivel de agua
 - Tapón fusible
- Por aumento de presión
 - Nivel de seguridad en el presóstato

- Válvula de seguridad

Tanto los elementos de control como los de seguridad mantienen el funcionamiento de la caldera y actúan ante el eventual bloqueo, puede ser manual por el foguista o automático a través del PLC, el bloqueo se dará por:

- Alta presión
- Bajo nivel de agua: 2 niveles a controlar, bajo y muy bajo
- Ausencia de llama
- Ausencia de aire de combustión
- Acción voluntaria del foguista

2.2. Selección:

El objetivo de una caldera, además de generar vapor, es realizarlo con la máxima eficiencia posible la transferencia de calor.

Cuando se plantea seleccionar una caldera se deben considerar los siguientes parámetros:

- Cantidad de vapor requerida
- Presión, temperatura, calidad del vapor requerido
- Futuros requerimientos
- Localización de la unidad
- Características de la carga
- Tipos de combustibles disponibles
- Diseño de quemadores
- Calidad del agua de alimentación
- Variaciones previstas de la carga.

Ante una solicitud de caldera se debe indicar:

- Cantidad de vapor requerida
- Presión de trabajo
- En caso de requerir vapor sobrecalentado se debe indicar la temperatura
- Sobrecalentador en caso de necesitar
- Tipo de combustible a utilizar
- Quemador requerido
- Requerimientos especiales: se refiere a condiciones necesarias específicas del emprendimiento, como necesidades de temperatura de humos, condición de entrada de agua, etc.

Es importante tener en cuenta todos los elementos que rodean al generador de vapor, tales como tanques de almacenamiento de agua tratada, desaireadores, bombas de alimentación, chimenea de humos y todas las conexiones entre los sistemas con sus accesorios.

Si bien un mismo proveedor puede brindar toda la solución de la generación de vapor, se puede considerar que también existe la posibilidad de construir un sistema con diferentes proveedores. En el anexo 1 se ven ejemplos de presupuestos, en ellos se puede observar los distintos requerimientos que puede contener la solicitud de una caldera.

La localización del emprendimiento juega un papel importante, en caso de localizarse muy lejos del proveedor puede generar costo mayor el transporte del generador. En el anexo 2 se pueden ver a modo de ejemplo unos diagramas de generadores de vapor, desde uno simple de una caldera humotubular con accesorios hasta una caldera acuotubular de gran porte.

3. TRATAMIENTO DE AGUA

3.1. Tratamiento externo

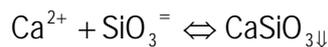
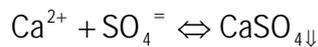
3.1.0.1 Generalidades

El nivel de impurezas en el agua para calderas debe mantenerse dentro de ciertos valores máximos admisibles, de forma de minimizar los problemas asociados con las mismas. Los problemas frecuentes son la formación de incrustaciones, corrosión y arrastre en línea de vapor. Las incrustaciones se forman cuando la concentración de impurezas supera ciertos límites y comienzan a precipitar. Pueden aparecer como barros o como depósitos fijos o adherentes que se depositan sobre las paredes de los equipos disminuyendo la transferencia de calor, la circulación de fluidos y por lo tanto la eficiencia del equipo, esto hará aumentar la temperatura del metal, lo que conlleva a una dilatación de los materiales, produciendo un esfuerzo en las uniones de tubos y placas, que pueden provocar a la ruptura la unión y hasta fatigar la placa provocando daños por fisuras. Cuando la placa esta recalentada también se eleva la temperatura del mandrilado, facilitando el aflojamiento de los tubos y la fisura de la placa. Las sales causantes de incrustaciones son sales de calcio y de magnesio presentes en el agua en forma de bicarbonatos solubles pero que con la temperatura de la caldera se descomponen formando sales insolubles.

Todos los abastecimientos de agua contienen algo de sílice (SiO₂). Entre los problemas asociados a ella están las incrustaciones. Los depósitos de sílice son muy difíciles de eliminar.

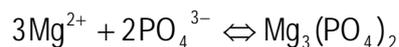
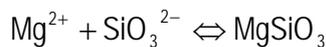
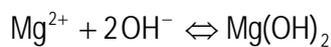
3.1.0.2 Incrustaciones

El calcio presente en el agua de alimentación, puede reaccionar en la caldera según:

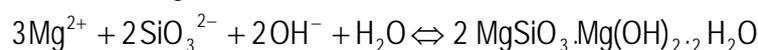


Los compuestos anteriores forman incrustaciones, desarrollando una estructura cristalina definida en la superficie del metal.

El magnesio puede reaccionar según:



El hidróxido de magnesio se encuentra habitualmente en los barros de la caldera. De haber suficiente cantidad de sílice en la misma, se formará la serpentita, que es un barro liviano y no adherente, según:



El silicato de magnesio no se encuentra en las incrustaciones de la caldera ya que en medio básico el magnesio precipita como hidróxido. No ocurre lo mismo con el silicato de calcio ya que el hidróxido presenta una solubilidad más alta. Los silicatos de calcio son duros y aislantes.

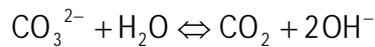
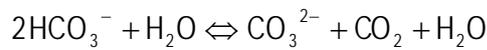
3.1.0.3 Arrastre

El *arrastre* consiste en el pasaje de agua con las sales presentes en el agua, al vapor que se genera. Otro ejemplo común es el arrastre por volatilización, en particular de la sílice, fenómeno que se produce cuando se trabaja a presiones mayores a los 40 kg/cm².

3.1.0.4 Corrosión

El oxígeno disuelto en el agua genera corrosión. En ausencia de oxígeno la corrosión está perfectamente controlada entre pH de 9 y 12, siendo mínima a 11.5. Por lo anterior es fundamental una correcta eliminación de O₂ y un adecuado control de pH.

La alcalinidad en la caldera se obtiene por descomposición de los bicarbonatos según:



A presiones bajas esta descomposición es lenta existiendo un sistema buffer HCO₃⁻-CO₃⁼-OH⁻ que ofrece un pH que no es lo suficientemente alto como para prevenir la descomposición del silicato de magnesio.

3.1.0.5 Eliminación de la dureza

Cuando un agua es referida como agua “dura” esto simplemente significa, que contiene más minerales que un agua normal. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto.

A menudo se utiliza el índice de Langelier para establecer el carácter incrustante o corrosivo del agua. Un agua con un índice positivo es incrustante y con índice negativo es corrosiva. Este índice es, en realidad, la tendencia que presenta el agua a precipitar o disolver el carbonato de calcio a determinada temperatura. Un agua que presenta un índice positivo precipitará el carbonato de calcio por lo que presenta características incrustantes. Un agua con un índice negativo tenderá a disolver el carbonato de calcio favoreciendo la corrosión al dejar desnuda la superficie metálica.

El tratamiento químico del agua apunta a prevenir los fenómenos de incrustación y corrosión en la industria. Los métodos más usados para prevenir los problemas de un agua dura es el ablandamiento mediante resinas de intercambio iónico, ósmosis inversa o combinaciones de ambos tratamientos.

La exigencia del tratamiento lo determina la condición que se requiera el vapor y la calidad del agua a utilizar.

Drum Pressure (psig)	Boiler Feedwater		Boiler Water			
	Iron (ppm Fe)	Copper (ppm Cu)	Total Hardness (ppm CaCO ₃)	Silica (ppm SiO ₂)	Total Alkalinity** (ppm CaCO ₃)	Specific Conductance (micromhos/cm)
0-300	0.100	0.050	0.300	150	700*	7000
301-450	0.050	0.025	0.300	90	600*	6000
451-600	0.030	0.020	0.200	40	500*	5000
601-750	0.025	0.020	0.200	30	400*	4000
751-900	0.020	0.015	0.100	20	300*	3000
901-1000	0.020	0.015	0.050	8	200*	2000
1001-1500	0.010	0.010	0.0	2	0***	150
1501-2000	0.010	0.010	0.0	1	0***	100

*Alkalinity not to exceed 10 percent of specific conductance.

**Minimum level of OH alkalinity in boilers below 1000 psi must be individually specified with regard to silica solubility and other components of internal treatment.

***Zero in these cases refers to free sodium or potassium hydroxide alkalinity. Some small variable amount of total alkalinity will be present and measurable with the assumed congruent control or volatile treatment employed at these high pressure ranges.

Source—ASME Research Committee on Water in Thermal Power Systems.

Figure 12-2. Guidelines for water quality in modern industrial water tube boilers for reliable continuous operation.

3.1.1 Resinas de intercambio iónico

3.1.1.1 Generalidades

El intercambio iónico es el proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre fases líquida y sólida donde no hay un cambio permanente en la estructura del sólido. La solución se hace pasar a través de un lecho hasta que satura y comienza la fuga de contaminantes. En ese momento, la resina (fase sólida) se reactiva con una solución de regenerante que lleva los iones removidos retenidos para la disposición como efluente líquido.

Las resinas de intercambio iónico se basan en la utilización de una matriz polimérica de enlace cruzado. Los grupos funcionales cargados se adhieren a la matriz a través de enlaces covalentes, que pueden clasificarse en: ácidos fuertes, ácidos débiles, bases fuertes y bases débiles.



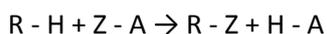
Figura N° 3.1: Resina, Fuente: Carbotecnia S.A.

3.1.1.2 Tipos de resinas de intercambio

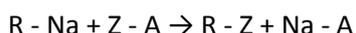
CATIÓNICAS: Intercambia iones positivos. Su estructura contiene grupos funcionales ácidos. Las resinas pueden ser ácidas fuertes (Grupo sulfónico- HSO_3) o ácidas débiles (Grupos metilsulfónico- CH_3HSO_3 , carboxílico $-\text{COOH}$, fosfonio- H_2PO_3 , fenólico- OH).

Intercambio de Catión

Ciclo ácido (desmineralizar)



Ciclo sódico (ablandar)



R: cadena de la resina

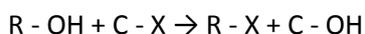
Z: catión (p. ej.: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , etc.)

A: anión (p. ej.: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , etc.)

ANIÓNICAS: Intercambia iones negativos. Su estructura contiene grupos funcionales básicos. Estas resinas pueden ser fuertes (Grupo amonio cuaternario $-\text{N}^{\oplus}\text{R}_4$ dentro del cual existen la Tipo I menor fugacidad SiO_2 y Tipo II mayor fugacidad SiO_2) o débiles (Grupo amino $-\text{N}^{\oplus}\text{H}_3\text{R}$).

Existen diversas combinaciones en las cuales dependerá de las características que provenga el agua bruta y la calidad que se quiera llegar, algunas incluso con otras operaciones complementarias.

Intercambio de Anión



C: catión o H^+

X: anión (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-})

En los casos que se requiera desmineralizar los sistemas más utilizados son: *resina catiónica de ácido fuerte + anión básica fuerte*. Estos sistemas consisten en dos columnas, una conteniendo una resina de intercambio catiónico en forma de protones $R-(H^+)$ y la otra conteniendo una resina aniónica en forma hidroxilos $R-(OH^-)$. El agua fluye a través de la columna catiónica, con lo cual todos los cationes son sustituidos por protones. El agua descationizada luego fluye a través de la columna aniónica. Esta vez, todos los aniones cargados negativamente son intercambiados por iones hidroxilo, los cuales se combinan con los protones para formar agua (H_2O).

Estos sistemas reducen la concentración de todos los iones, incluyendo la sílice. En la mayoría de los casos se aconseja reducir el flujo de iones que pasan a través del intercambiador iónico por medio de la instalación de una unidad eliminadora de CO_2 entre las columnas de intercambio iónico. Esto reduce el contenido de CO_2 a unos pocos mg/L, y ocasiona una subsiguiente reducción del volumen de la resina aniónica de base fuerte, así como los requerimientos de regeneración de los reactivos.

En general, el sistema de resina de catión ácido fuerte y anión básico fuerte es el método más simple y con él se puede obtener un agua desionizada que puede ser usada en una amplia variedad de aplicaciones.

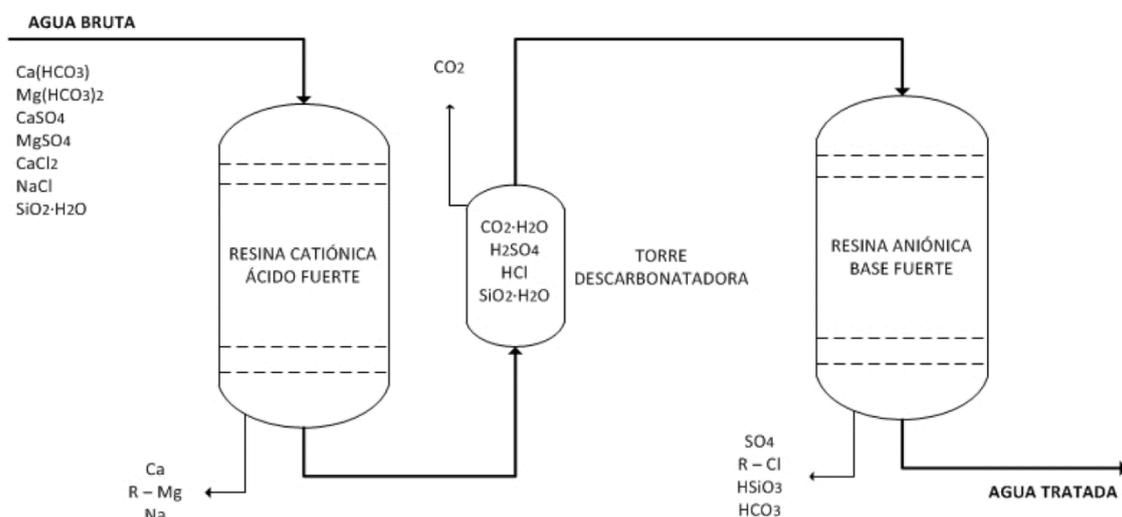


Figura N° 3.2: Diagrama de tren de tratamiento, Fuente: Biblioteca on-line LENNTECH

Sistemas de resina catiónica ácido fuerte + aniónica básica débil + aniónica básica fuerte

Esta combinación es una modificación de la anterior. Proporciona la misma calidad de agua desionizada, a la vez que ofrece ventajas económicas cuando se trata agua que contiene elevadas cantidades de aniones fuertes (cloruros y sulfatos). El diagrama muestra que este sistema está equipado con un intercambiador aniónico básico extra débil. La unidad eliminadora de CO_2 opcional puede ser instalada tanto después del intercambiador catiónico como entre los dos intercambiadores aniónicos. La regeneración de los intercambiadores aniónicos se realiza con una disolución de soda cáustica ($NaOH$), pasándola primero a través de la resina de base

fuerte y luego a través de la resina de base débil. Este método requiere de menor cantidad de soda cáustica que el método descrito anteriormente, porque la disolución regeneradora utilizada después del intercambiador aniónico de base fuerte es normalmente suficiente para regenerar completamente la resina de base débil. Además, cuando la materia prima contiene una proporción elevada de materia orgánica, la resina de base débil protege a la resina de base fuerte.

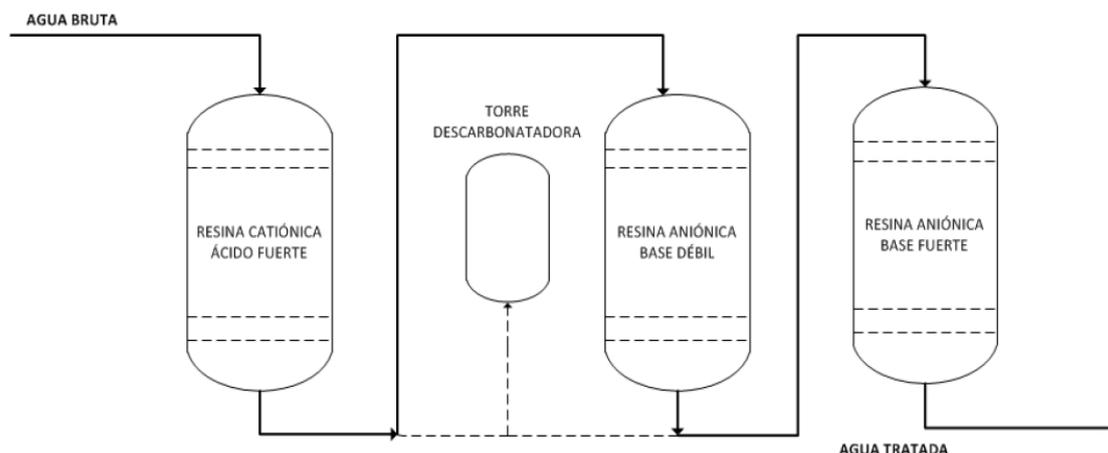


Figura N° 3.3: Diagrama de tren de tratamiento Fuente: Biblioteca on-line LENNTECH

3.1.1.3 Desionización de lecho mixto

En los desionizadores de lecho mixto, las resinas están íntimamente mezcladas (aniónica y catiónica) y contenidas en una única columna presurizada. Ambas resinas son mezcladas por agitación con aire comprimido, de forma que todo el lecho puede considerarse como un número infinito de intercambiadores aniónicos y catiónicos en serie.

Para llevar a cabo la regeneración, las dos resinas se separan hidráulicamente durante la fase de pérdida. Como la resina aniónica es más ligera que la resina catiónica, se eleva hasta el tope, mientras que la resina catiónica se desplaza hacia abajo. Después del proceso de separación, la regeneración se lleva a cabo con soda cáustica y ácido fuerte. Cualquier exceso del regenerador es eliminado mediante el lavado de cada lecho por separado.

Las ventajas de los sistemas de lecho mixto son que el agua obtenida es de muy alta pureza por lo que su calidad permanece constante a lo largo del ciclo y el pH es casi neutro.

Las desventajas de los sistemas de lecho mixto son una menor capacidad de intercambio y un procedimiento de operación más complicado, debido a los pasos de separación y mezcla que tienen que llevarse a cabo.

Para los casos en los cuales no sea necesario desmineralizar se utilizan combinaciones similares, la principal diferencia es que se utilizan resinas catiónica de ciclo sódico.

Indistintamente de la combinación que se utilice, es necesario clarificar el agua previamente al tratamiento en resinas.

3.1.1.4 Ciclos de resinas

Es importante destacar que cada resina debe cumplir con un ciclo, en el que el intercambio de iones con el agua a tratar es sólo una de las etapas, la de agotamiento. Las diferentes etapas se detallan a continuación.

AGOTAMIENTO: Es la etapa útil de la resina, durante la cual se da el intercambio.

RETROLAVADO: En esta etapa se hace circular agua en contracorriente por el lecho de la resina, de forma de quitar impurezas no solubles que vinieran con el agua a tratar. La acumulación de estas impurezas en la resina provoca una pérdida de carga en la resina. En esta etapa también se da la remoción de partículas de polímero rota, ya que su presencia puede promover la formación de caminos preferenciales.

REGENERACIÓN: Para regenerar la resina se hace circular una solución que contiene el componente que ocupa los sitios activos de la misma. Esta solución debe ser de una concentración adecuada ya que debe poder revertir el equilibrio.

ENJUAGUE: Esta etapa se realiza con el fin de remover la dureza remanente y también porque las soluciones utilizadas en la regeneración de la resina son relativamente concentradas.

Los volúmenes requeridos de resina se determinan a partir de la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{Q \times \theta \times E}{C}$$

θ = Tiempo entre regeneraciones (h)

Q = Caudal de agua a tratar (L/h)

E = Equivalentes a intercambiar por litro de agua (eq/L)

C = Capacidad de intercambio de la resina (eq/LR)

3.1.2 Ósmosis inversa

3.1.2.1 Generalidades

El término ósmosis hace referencia al paso del solvente a través de una membrana semipermeable desde una solución menos concentrada hacia una solución más concentrada. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía originada en la diferencia de concentraciones, y el solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las 2 soluciones. Si se aplica una fuerza mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en sentido inverso, denominándose a esto ósmosis inversa.

Los componentes básicos de una instalación típica de ósmosis inversa consisten en varios tubos conteniendo la membrana ordenados en serie o paralelo. Una bomba suministra en forma continua el fluido a tratar a los tubos de presión, y además es la encargada en la práctica de suministrar *la presión necesaria* para producir el proceso.

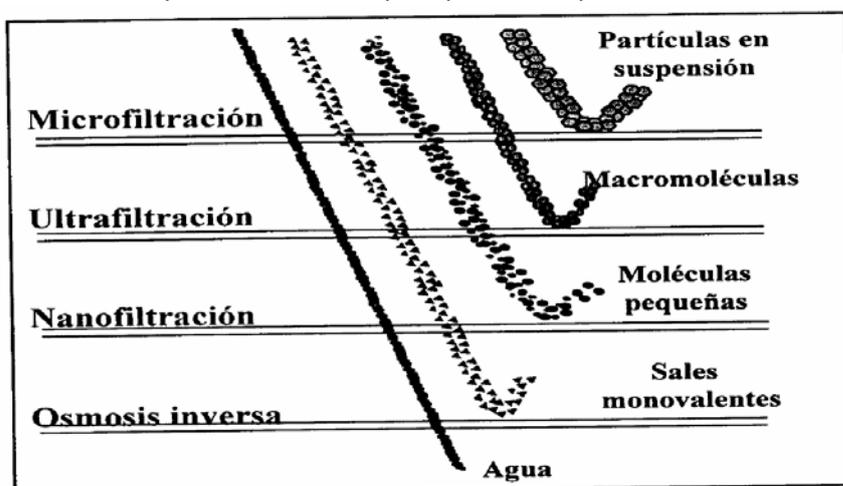


Figura N° 3.4: Niveles de filtración.

3.1.2.2 Tipos de membranas

De acuerdo al tipo de material las membranas se clasifican según sean de acetato de celulosa o de poliamida. Esta es una sustancia sintética, que permite conseguir un mejor tamaño de poro y permeabilidad, separando sustancias orgánicas e inorgánicas con tamaños de 0,1 a 1 nm, y otorgando mayor rendimiento y durabilidad de la membrana.

Además de esta capa de poliamida, que es la responsable de la selectividad, dando alto rechazo a las sales y la sílice y excelente resistencia química, una membrana de ósmosis inversa está formada por otras dos capas, una intermedia micro porosa de polisulfona que sirve de soporte y ofrece la porosidad y la fortaleza física necesaria, es resistente a la compactación bajo las presiones de trabajo de la ósmosis inversa y una tercera capa de poliéster muy fuerte que proporciona un soporte estructural subyacente.

De acuerdo al tipo de presentación comercial podemos distinguir tres tipos de membranas:

- La membrana tubular está hecha de largos tubos porosos en los que en su interior consta la membrana. El agua de entrada circula por el interior, saliendo el agua permeada entre la pared exterior de la membrana y la pared interior del tubo conector.
- La membrana de fibra hueca consta de miles de fibras huecas en el interior de un recipiente cilíndrico en configuración vertical. Estas membranas trabajan de afuera hacia adentro, es decir el permeado se recoge en el interior de las fibras y la suciedad queda retenida en el exterior.

- La membrana espiral consiste en un conjunto de hojas enroscadas en un soporte poroso y espaciador que se enrolla en un tubo de PVC que es el colector de agua permeada.

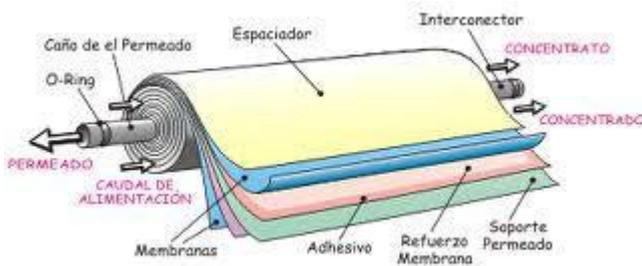


Figura N° 3.5: Membrana del tipo espiral, Fuente: Siemensmariocastillo.pdf

Las membranas del tipo espiral son las más generalizadas en la industria por su facilidad de limpieza y será de este tipo la que escogeremos para nuestra aplicación.

3.1.2.3 Limpieza de membranas

Existen varios métodos diferentes de limpieza de membranas, tales como lavado por chorro delantero, lavado por chorro trasero y lavado por chorro de aire.

Cuando se aplica un chorro de agua delantero, las membranas son lavadas desde adelante con el agua entrante o con el permeado. El agua entrante o el permeado fluyen a través del sistema más rápidamente que durante la fase de producción. Debido a la mayor rapidez de flujo y a la turbulencia resultante, las partículas que habían sido absorbidas por la membrana son liberadas y descargadas. Las partículas que habían sido absorbidas por los poros de la membrana no son liberadas. Estas partículas solo pueden ser eliminadas por medio del lavado con chorro de agua trasero.

Un método de limpieza más innovador es el llamado lavado por chorro de aire o por chorro de aire y agua. Este es un lavado por chorro delantero durante el cual se inyecta aire en el tubo de abastecimiento. Debido a la inyección del aire (permaneciendo igual la velocidad del agua), se crea un sistema de limpieza mucho más turbulento.

Cuando los métodos de limpieza anteriormente mencionados no son suficientemente efectivos para reducir el flujo de rechazo hasta un nivel aceptable, es necesario limpiar las membranas químicamente. Durante la limpieza química, productos como el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido nítrico (HNO₃) o agentes desinfectantes, como el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) son añadidos a modo de impregnar la membrana y eliminar la suciedad. A menudo se combinan los métodos de limpieza. Por ejemplo, uno puede usar un flujo trasero para la eliminación de la suciedad de los poros, seguido de un lavado de chorro de agua o de aire delanteros.

El método o estrategia de limpieza utilizada depende de muchos factores. En la práctica, los métodos más adecuados son determinados por prueba y error (test de prueba), pero en todos los casos se deberá consultar con el proveedor de los equipos que posibilidades para la limpieza de la membrana ofrece el mismo.

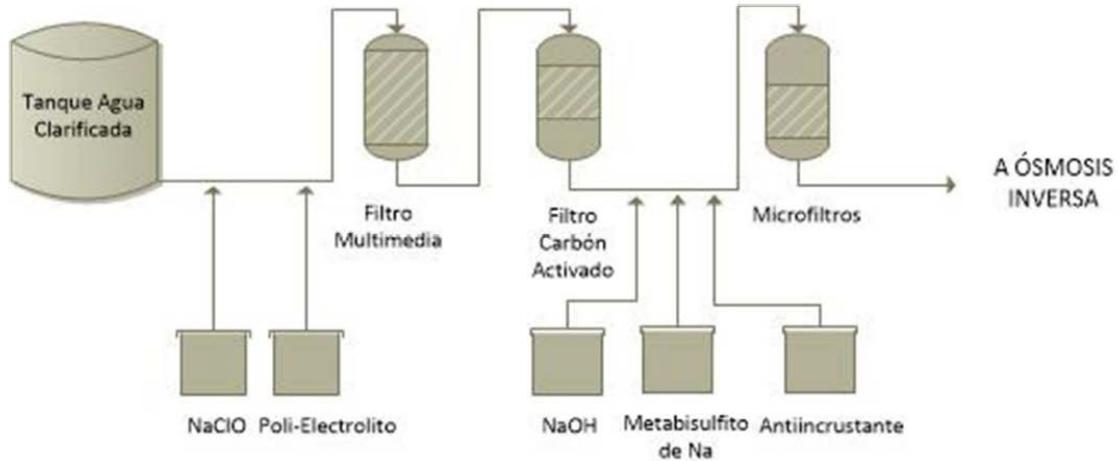
3.1.2.4 Pretratamiento

Muchas veces los parámetros del agua de origen determinan que la misma no es apta para ingresar directamente a los módulos de desmineralización (al igual que en el tratamiento con resinas, estamos hablando de agua como mínimo ya clarificada).

Por este motivo se sugiere un proceso de pretratamiento del agua para luego pasar a la desmineralización por osmosis inversa.

La etapa de pretratamiento puede consistir en simplemente un agregado de productos químicos a tener etapas de filtración, decoloración, dosificación de productos químicos y finalmente la etapa de pulido final.

Figura N° 3.6: Ejemplo de un esquema complejo pretratamiento



La etapa de filtración consta de dos Filtros multimedia, contienen un manto soporte de piedra, arena gruesa, fina y granate, y un manto filtrante de antracita, arena y granate. El objetivo de esta etapa es la remoción de sólidos suspendidos, reducir la turbiedad y el alto valor del Índice de Ensuciamiento presente en el agua.

La etapa de decoloración está compuesta por dos filtros de carbón activado, también poseen un manto soporte de piedra, arena gruesa y fina, y un manto de carbón activado. La finalidad de esta etapa es la remoción de cloro residual previo al ingreso del agua al equipo de osmosis inversa, ya que este producto ataca químicamente en forma irreversible las membranas.

La etapa de Pulido Final tiene como finalidad retener las partículas más finas que puedan fugar de los Filtros Multimedia y de Carbón Activado. Este pulido se realiza mediante dos sistemas de carcasas en serie que contienen cartuchos de microfiltración cada una.

3.1.3 *Desaireadores*

Una vez eliminados los sólidos en suspensión, los sólidos disueltos y, en caso de ser necesario, los microorganismos, en esta etapa del tratamiento externo de un agua de alimentación para caldera, es necesario eliminar los gases disueltos.

Nuestro interés fundamental es eliminar el oxígeno por ser causante de fenómenos de corrosión muy peligrosos, conocidos como "pitting".

Para la eliminación de gases disueltos combinaremos un proceso de tratamiento externo con uno de tratamiento interno.

En el caso de tratamiento externo, este se produce en equipos que llamaremos *Desaireadores*.

El oxígeno disuelto en el agua de alimentación a los generadores de vapor activa procesos de corrosión no solo dentro del generador sino también en las líneas de vapor. A su vez, el anhídrido carbónico disuelto es convertido parte en carbonatos y parte es arrastrado junto con el vapor y vuelto a disolver en los retornos de condensados, generando la denominada corrosión por ácido carbónico.

Para evitar estos efectos, el agua de alimentación de los generadores ingresa a los mismos luego de ser procesada a través de un desaireador. En este equipo el agua de alimentación es calentada hasta el punto de saturación, a través de la inyección de vapor y el aumento de la superficie del líquido. De esta forma, además de precalentar el agua de ingreso al generador, se facilita la liberación de los gases disueltos (entre ellos anhídrido carbónico y oxígeno), que se eliminan a través de un venteo. A su vez, este equipo permite aprovechar vapor de baja presión y vapor flash (en el caso que existiera), para realizar el calentamiento, recepcionar condensados de alta y baja presión y reducir el consumo de secuestrantes de oxígeno.

3.2. Tratamiento interno

3.2.1 Generalidades

El tratamiento interno de la caldera se realiza dentro del equipo, o en el tanque colector que recibe el condensado y el agua de reposición ingresando al domo de la caldera disueltos. El principal objetivo es la prevención de incrustaciones, corrosión y arrastres. Es complementario del tratamiento externo.

Los tratamientos con resinas y/o ósmosis inversa no dan seguridad de un 100% de remoción de iones, al igual que los tratamientos externos destinados a la remoción de agentes corrosivos (Ej. desaireador para remoción de oxígeno y dióxido de carbono). Como se mencionó antes al incrementarse la presión de trabajo también se incrementa el grado de calidad de agua necesaria para trabajar con seguridad.

3.2.2 Dureza y fosfatos

La dureza la forman sales de calcio y magnesio, las cuales dentro de la caldera pueden alcanzar los valores de solubilidad adhiriéndose a las superficies de tubos, hogar y envolvente, o sedimentando como lodos que con purgas inadecuadas se acumulan en el fondo. Esas sales al adherirse al equipo o al depositarse como lodos comienzan por efecto de la temperatura a deshidratarse y consolidarse como incrustación, en muchos casos difícil de remover.

Los remanentes de las sales de calcio y magnesio incrustantes que no se pudieron eliminar en el ablandamiento forman con los fosfatos, en medio alcalino, lodos no adherentes que son fáciles de extraer mediante la purga de fondo de la caldera

3.2.3 Acondicionadores de lodos

Son sustancias orgánicas que tienen propiedades disperso-solubilizantes, contribuyendo al control de la cantidad y la fluidez de los lodos formados. Asimismo algunos de estos polímeros, especialmente diseñados para no alterar la inocuidad del vapor generado, pueden tener propiedades quelantes, que disminuyen la tendencia a formar depósitos incrustantes de las durezas en solución del agua. Estos aditivos agregados como parte integral del tratamiento interno del generador favorecen la eliminación de las sales pocos solubles que se acumulan en el generador ya bien permitiendo su eliminación a través de las purgas, solubilizadas, en suspensión estabilizada o como lodos fluidos no adherentes.

3.2.4 Gases disueltos

Los gases más comunes que entran al sistema de generación de vapor arrastrados por el agua son el oxígeno y el dióxido de carbono.

El oxígeno disuelto ataca al hierro y forma hidróxido férrico, esta corrosión se presenta como ampollas en la superficie del material y con el tiempo puede llegar a perforarlo. El dióxido de carbono ataca al metal principalmente cuando hay oxígeno disuelto.

El desaireador, elimina la mayor parte del dióxido de carbono del agua de alimentación sin embargo dentro de la caldera, la alcalinidad debida a los carbonatos y bicarbonatos, produce una cantidad adicional de dióxido de carbono, esto hace que se requiera un tratamiento adicional en el domo de la misma.

El dióxido de carbono en las calderas de vapor y sus sistema puede controlarse neutralizándolo con una amina volátil, que al añadirse al agua de la caldera, se vaporiza y pasa al sistema de distribución donde se combina con el CO₂ libre contenido en el vapor para formar una amida. Las aminas más comúnmente usadas son la morfolina y la ciclohexilamina.

Las aminas se utilizan normalmente en concentraciones de 0,7 a 1 ppm, se deben suministrar directamente en el cabezal del vapor.

Para eliminar el contenido de oxígeno disuelto en el agua que ingresa a la caldera se utiliza sulfito de sodio que reacciona con el oxígeno, produciendo sulfato de sodio, el cual no provoca corrosión. El sulfito de sodio se debe administrar continuamente a la caldera, la cantidad dependerá de la presión de trabajo de la caldera.

Por encima de 1000 psi, el Na_2SO_3 se descompone en H_2S y SO_3 . Además a esas presiones y superiores, ya se hace intolerable el aporte a los SSTT (sólidos totales) del SO_3^{2-} y del SO_4^{2-} .

En estos casos se usa hidracina, esta reacciona con el oxígeno formando nitrógeno y agua.

3.2.5 Control de pH

Este parámetro es muy importante ya que muchos de los fenómenos fisicoquímicos que pueden ocurrir dentro del generador de vapor dependen de él. La solubilidad de muchas de las sales disueltas provenientes del agua de alimentación, la estabilidad y efectividad de los aditivos agregados para el acondicionamiento del agua, los fenómenos de corrosión del metal del generador, etc., son algunos de los fenómenos que están afectados por el pH.

En ausencia de oxígeno la corrosión está controlada entre pH 9 y 12. Esta es mínima a 11,5. Para evitar la aparición descontrolada de OH^- se debe utilizar un buffer de fosfato. Para un control práctico se debe verificar que en el domo la relación $\text{Na}^+/\text{PO}_4^{3-}$ no supere el valor de 3, debe ser de 2,6 a 2,8.

En pH superiores a 13 se produce la fragilidad cáustica que es cuando ocurre difusión de H_2 en la red del acero.

3.2.6 Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad ácido-neutralizante. Esta propiedad del agua debe ser interpretada en relación a la composición de la muestra. En la mayoría de las muestras de agua, la alcalinidad será una función de la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes. Estas sustancias en solución, modifican las propiedades tensoactivas del agua dándole características "jabonosas", dificultando la liberación de burbujas de vapor y aumentando la tendencia al arrastre de gotas de agua en el vapor. Asimismo, estas sustancias están vinculadas con la corrosión y la fragilización cáustica que deben ser controladas.

Los valores de alcalinidad se correlacionan con el contenido de sólidos disueltos y la conductividad. Un adecuado régimen de purgas mantiene los niveles de alcalinidad del agua del generador dentro del rango operativo.

3.2.7 Sólidos disueltos y conductividad

Los sólidos disueltos son las sales minerales del agua que no forman incrustaciones y pueden producir espumas y arrastres de líquido a las cañerías del sistema. El inadecuado régimen de purgas tanto de superficie como de fondo, condicionan la cantidad de sólidos dentro del generador.

Una cantidad insuficiente de purgas no elimina la concentración de sales generadas incrementando los valores de conductividad y sólidos. De esta forma aumenta la tendencia a generarse depósitos sólidos. Algunas sales al disminuir la concentración se vuelven a disolver muy fácilmente, en tanto otras forman depósitos difíciles de remover (incrustaciones). Otro tipo de sales al precipitarse generan lodos que se acumulan en las partes bajas, por ejemplo debajo del hogar, lo cual puede causar una mala circulación alrededor del hogar posibilitando la ocurrencia de sobrecalentamientos, corrosión e incluso accidentes graves.

Por el contrario, un excesivo régimen de purgas elimina agua en forma innecesaria haciendo perder eficiencia al generador y aumentando el consumo de aditivos.

La sílice también debe ser tenida muy en cuenta ya que las incrustaciones de este tipo son muy poco conductoras del calor y muy difíciles de remover una vez formadas. Además la sílice puede evaporarse y entrar en la corriente de vapor, formando un depósito al condensarse el mismo. Esto puede ser controlado manteniendo un nivel bajo de sílice en el agua de la caldera.

En casos que el proceso no acepte el agregado de SSTT, como la generación de energía eléctrica, o los productos químicos sean intolerables debido al uso como la elaboración de alimentos y bebidas, la fabricación de productos químicos y farmacológicos, se deben buscar métodos complementarios a las formas ya vistas en este informe, por ejemplo los sistemas electrodesionización

4. COSTO DEL GENERADOR DE VAPOR

En este informe se estudiaron los proyectos de fin de curso de la carrera de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Ingeniería, UDELAR, desde 1998 hasta el 2015 con el fin de poder determinar una cotización de un generador de vapor para futuros proyectos.

El estudio se enfocó en la recolección de cotizaciones de los proyectos, estos se agruparon de acuerdo al combustible utilizado y a la circulación del fluido dentro de los tubos. Dentro de cada categoría, se agrupó entre presiones de trabajo similares para el tratamiento de datos.

4.1. Tratamiento de datos

De la selección de datos a tratar se determinaron las siguientes categorías:

- ✓ Combustibles líquidos: fuel oil, gas oil
 - Hasta 6 kg*/cm²
 - Desde 7 kg*/cm² a 14 kg*/cm²
- ✓ Combustibles gaseosos: GN, GLP, Biogás
 - Desde 8 kg*/cm² a 12 kg*/cm²
- ✓ Combustibles sólidos
 - Biomasa: desde 7 kg*/cm² a 10 kg*/cm²
 - Híbridas: hasta 17 kg*/cm²
- ✓ Acuotubulares
 - Residuos forestales desde 10 kg*/cm² a 68 kg*/cm²

Para obtener valores de cotizaciones coherentes primero se llevó a base del 2016 utilizando los *Chemical Engineering Plant Cost Index*, para el pasaje de cotizaciones se utilizaron los índices anuales de la *Chemical Engineering* y la ecuación (1)

$$\text{Cotizacion actual} = \text{Cotizacion original} \times \left(\frac{\text{índice año actual}}{\text{índice año original}} \right) \quad (1)$$

Una vez obtenida la cotización sobre la misma base se relacionó la cotización de la caldera con la capacidad utilizando a la ecuación (2)

$$\text{Cotizacion requerida} = \text{Cotizacion original} \times \left(\frac{\text{capacidad requerida}}{\text{capacidad original}} \right)^{0.7} \quad (2)$$

Despejando la ecuación (2) con el propósito de obtener una ecuación la cual pudiera utilizar las cotizaciones de los proyectos, se obtuvo la ecuación (3)

$$\text{Cotizacion requerida} = \frac{\text{Cotizacion original}}{\text{capacidad original}^{0.7}} \times \text{Capacidad requerida}^{0.7} \quad (3)$$

Se realizaron graficas utilizando la ecuación (3) y los datos de los proyectos como las variables requeridas, obteniendo así una constante para cada categoría, estos valores fueron usados como pendientes en las distintas graficas Cotización vs Capacidad, dichas graficas se pueden observar en el Excel "Presupuestos.xlsx".

Resultados

De esta forma se pudieron obtener resultados dentro de los antes mencionados parámetros. Considerando los datos relevados estas cotizaciones incluyen:

- ✓ Generador de vapor
- ✓ Quemador
- ✓ Chimenea
- ✓ Equipos de seguridad y control
- ✓ Conexiones y accesorios entre los anteriores equipos

Para un sistema completo de generación de vapor se deberán conseguir los presupuestos de los elementos faltantes en la anterior lista. La instalación del equipo mientras se encuentre en una zona no muy lejana se puede considerar un 10% del total del equipo.

Ecuaciones para cada categoría

- ✓ Combustibles líquidos: fuel oil, gas oil
 - Hasta 6 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 466 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}
 - Desde 7 kg*/cm² a 14 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 501,51 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}
- ✓ Combustibles gaseosos: GN, GLP, Biogás
 - Desde 8 kg*/cm² a 12 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 120 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}
- ✓ Combustibles sólidos
 - Biomasa: desde 7 kg*/cm² a 10 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 739,05 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}
 - Híbridas: hasta 17 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 1187,5 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}
- ✓ Acuotubulares
 - Residuos forestales desde 10 kg*/cm² a 68 kg*/cm²
Cotización [U\$S] = 4371,3 * (Capacidad [kg vapor])^{0,7}

5. CONCLUSIÓN

Como resultado de la evaluación de cotizaciones de generadores de vapor en proyectos de fin de grado de la carrera de ingeniería química, sumado a entrevistas con empresas de amplia trayectoria en el país, se logró llegar a una función en la cual teniendo el dato de la capacidad de vapor requerida, podemos obtener la cotización dentro de ciertos parámetros como la presión, el combustible, accesorios, entre otros.

Se concluye que este trabajo cumple satisfactoriamente con la función de proveer la información del presupuesto del generador de vapor que necesitan los estudiantes al momento de realizar el proyecto de fin de grado, dada la incertidumbre de los valores, estos presupuestos serán aplicados únicamente a los mencionados proyectos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería “Apuntes del Curso de Tecnología y Servicios Industriales”.
- Carl D. Shield. Calderas. Tipos, Características y sus Funciones. Standard Methods for the examination of water and wastewater. ASME. Boiler & Pressure Vessel Code. Foods and Drugs Administration.
- Norma ASME para calderas y recipientes a presión.
- www.mavainsa.com
- Guía básica calderas industriales eficientes fenercom 2013- www.madrid.org
- Censo de instrumentos críticos plantas Unidad de Balance (servicios). Sección III Instrumentos, Superintendencia de Mantenimiento. Septiembre 1988
- Manual de Operación y mantenimiento. Calderas fabricadas por DISTRAL S.A. para ECOPETROL, Unidad de Balance Barrancabermeja. Serie A-2212. Tomo I.
- Manual de Operación de calderas B-2951/55 de Unidad de Balance. Grupo III de la Superintendencia de Operaciones III. ECOPETROL - Complejo Industrial de Barrancabermeja, 1987. 159 p.
- BERKES – reunión, información cedida y en www.berkes.com.uy
- CIR S.A. – Turboflow - reunión, información cedida



EMPRESA CERTIFICADA ASME "S"- "U"



PROPUESTA: C12083

FECHA: 24/08/2012

CLIENTE: DIDERAL S.A.

OBJETO Caldera biomasa 8 t/h @ 10 barg Sat.

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Esta cotización y todos los documentos relacionados son propiedad exclusiva de JULIO BERKES S.A. No está autorizada la copia total o parcial de los mismos, salvo permiso por escrito, ni tampoco la divulgación a terceras partes y/ó competidores.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	SISTEMA DE COMBUSTIÓN	3
3.	GENERADOR DE VAPOR.....	7
3.1	Precalentador de aire.....	8
4.	AUXILIARES.....	8
4.1	Ductos de aire y ductos de gases.....	8
4.2	Chimenea de evacuación de gases.....	8
4.3	Estructuras, plataformas y escaleras.....	9
4.4	Aislación y refractario.....	9
4.5	Equipos.....	9
4.6	Válvulas manuales, de control y seguridad.....	10
4.7	Instrumentación y control.....	10
4.8	Paneles eléctricos.....	11
4.9	Cañerías de interconexión de equipos.....	12
4.10	Tanque de agua de alimentación a caldera.....	12

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se realiza una descripción de los equipos ofertados en la propuesta C12083, fabricación, montaje y puesta en marcha de una caldera de 8 t/h @ 10 barg de vapor saturado.

Se ofrecen dos alternativas que difieren en el sistema de combustión a utilizar, ambos serán aptos para operar con rolos.

- Opción 1: Parrilla.
- Opción 2: Gasógeno + Cámara torsional.

2. SISTEMA DE COMBUSTIÓN

Opción 1:

ANTEHOGAR Y PARRILLA

Está conformado por colectores y una pared tubular tipo membrana, con un techo de las mismas características tipo capilla. Los colectores está comunicados a la caldera por caños montantes y bajantes que aseguran la circulación del agua a través de los mismos, permitiendo un mejor aprovechamiento del calor generado durante el proceso de combustión.

Exteriormente es revestido con lana mineral como aislante térmico, protegido con chapa de acero galvanizado en el exterior.

En la parte inferior del antehogar se encuentra una parrilla fija inclinada, favoreciendo la disposición de la biomasa. Está constituida por tubos refrigerados, debajo de esta se encuentra un cenicero para la recolección de las cenizas que aseguran una correcta y cómoda evacuación de las mismas.

En la parte superior contará con una cámara de carga de leña, la cual permite una operación cómoda y segura de la caldera.

El antehogar tiene un visor para poder observar el interior del mismo.

Opción 2:

GASÓGENO Y CÁMARA TORSIONAL

En la tecnología propuesta por BERKES, de gasificación previa se realiza el proceso inevitable de gasificación en forma separada de la combustión, de manera de hacerlo de un modo eficiente.

Por tanto definimos “Gasificación” como “Un proceso en el cual los hidrocarburos se convierten en gas. Para que se produzca esta reacción es necesario el calor, que puede ser suministrado por la combustión parcial del propio combustible, o indirectamente por una fuente externa.” El gas generado en el Gasógeno, es un gas “pobre” obtenido como resultado de la gasificación de los hidrocarburos de la biomasa (volátiles), de la combustión incompleta de la misma (CO) y con el contenido de humedad que se evapora de la biomasa.

Este gas generado es quemado en una cámara de combustión ciclónica, la cual es conocida como Cámara Torsional. La Cámara Torsional es esencialmente un muy mejorado hogar ciclónico donde es posible cumplir con las siguientes condiciones:

- Suministrar a través de toberas “tangenciales” la cantidad estrictamente necesaria de aire de combustión.
- Tener un recinto con una adecuada temperatura que permite la ignición de los gases provenientes del Gasógeno.
- Realizar una mezcla perfecta entre el aire y el combustible.
- Obtener un régimen turbulento que optimiza la combustión y el intercambio térmico.

Por tanto, el cumplimiento de estas condiciones, imprescindibles para la correcta combustión, son las que explican las ventajas de este sistema, respecto de otros sistemas de combustión de biomasa.

Esto se puede traducir en hasta cinco puntos de eficiencia por encima de otros sistemas de quema de biomasa y un menor nivel de emisiones (CO, NOx, PM).

El sistema consta de los siguientes componentes básicos:

- Gasógeno.
- Grilla giratoria para extracción de cenizas.
- Cámara de alimentación de combustible al Gasógeno, se incluyen dos unidades una apta para trabajar con chips y otra para rolos.
- Cámara de Combustión Torsional.
- Ventilador de aire de gasificación (aire primario).
- Ventilador de aire de combustión (aire secundario).
- Ventilador de tiro inducido.

La función del ventilador primario es la de aportar el aire necesario para la combustión incompleta que se produce dentro del Gasógeno, y que permite la generación del gas combustible. La variación del caudal del mismo permite generar más ó menos gas combustible que posteriormente se quemará en la Cámara Torsional.

El ventilador secundario entrega el aire necesario para la combustión, manteniendo siempre un exceso de aire controlado por sobre el aire estequiométrico necesario.

Por último, la función del ventilador de tiro inducido es mantener una depresión en todo el circuito de gases, de manera de evitar la salida de estos durante la carga de biomasa en el Gasógeno.

Gasógeno



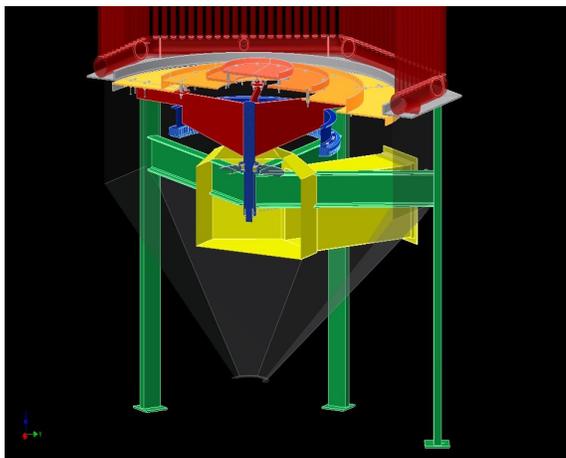
El Gasógeno incluido en esta propuesta es de tipo vertical, de tiro ascendente. Está conformado por dos colectores y una pared tubular tipo membrana, con un techo de las mismas características. Los colectores está comunicados a la caldera por caños montantes y bajantes que aseguran la circulación del agua a través de los mismos, permitiendo un mejor aprovechamiento del calor generado durante el proceso de gasificación.

Este diseño permite prescindir casi totalmente del uso de materiales refractarios, con el consiguiente ahorro en costos de mantenimiento.

Exteriormente es revestido con lana mineral como aislante térmico, protegido con chapa de acero galvanizado en el exterior.

Una Grilla giratoria, constituida por discos escalonados excéntricos y una tolva en la parte inferior, aseguran una correcta y cómoda evacuación de cenizas.

La grilla es movida mecánicamente por medio de un conjunto piñón-corona. Podrá ser accionada manualmente ó mediante accionamiento neumático ó eléctrico.



El diseño y disposición de los platos permite, con cada movimiento de la grilla, la caída de las cenizas que se van acumulando, para su posterior extracción por el fondo de la tolva. En la parte superior se dispone un sistema de carga de combustible, que permite efectuar la misma sin tener fugas de gases hacia el exterior.

El Gasógeno cuenta además con los siguientes accesorios:

- Un visor superior para poder observar el interior del gasógeno.
- Entrada de hombre en la parte inferior para inspección, limpieza e inicio del proceso de encendido (se podrá automatizar con quemador piloto de ser requerido).
- Varilla medidora de nivel de combustible dentro del gasógeno.
- Válvula tipo guillotina para evacuación de cenizas.
- Válvula rotativa con moto reductor para alimentación de combustible.

Cámara Torsional

La Cámara Torsional es esencialmente un muy mejorado hogar ciclónico. Entre los años 1940 y 1970 fue muy popular en los Estados Unidos y Alemania, y algo menos extendido en el Reino Unido, Francia y Europa del Este. La Cámara Torsional es un cilindro horizontal conectado a la caldera a través de un cuello cónico invertido.



La Cámara Torsional es el "quemador" dónde se produce la combustión del gas proveniente del Gasógeno. Dicho gas ingresa a la Cámara Torsional a través de un ducto de conexión. El aire de combustión proveniente del ventilador secundario entra al pleno conformado por la camisa exterior de la cámara.

Desde allí se distribuye a las toberas que atraviesan la cámara de agua e ingresa tangencialmente a la cámara interna de combustión. El diseño de la cámara logra tiempos de permanencia de la partícula antes de ser quemada del orden de 30 a 50 veces más alto que en los sistemas tradicionales. Debido al vórtice que generan las entradas de aire secundario, la partícula se mantiene rotando en la periferia de la cámara debido a la fuerza centrífuga y a medida que se va quemando, al perder masa, se achica su radio de rotación y es absorbida por el tiro inducido de la caldera.

Se logran con este sistema combustiones completas con muy poco exceso de aire, logrando rendimientos muy altos en comparación con los equipos de quema directa. El modelo matemático ha sido analizado en la Facultad de Ingeniería de Montevideo por el instituto de Mecánica de los Fluidos determinándose a partir del mismo las variables claves del diseño.

3. GENERADOR DE VAPOR.

Tipo – humotubular diseño BERKES.

Producción de vapor – 8.000 kg/h @ 10 barg saturado.

Hogar – corrugado-liso, chapa SA-516 Gr.70.

Superficie intercambio – dos pases en tubos 50.8mm, SA-178 Gr. A.

Fondo húmedo – tipo exterior acuotubular, tubos SA-178 Gr. A, colectores SA-106 Gr. B.

El diseño del tubo hogar es realizado acorde a normas Internacionales que limitan la liberación volumétrica y la absorción de calor, estando las calderas BERKES en valores muy por debajo de los máximos permitidos. La utilización de hogares espaciosos logra además bajas temperaturas de combustión, que repercuten en el nivel de emisiones de NO_x y en la vida útil del fondo húmedo y garantizan una excelente refrigeración en las zonas más críticas como el hogar y la cámara de hogar.



La fabricación de la totalidad de las partes que componen la unidad así como su ensamblado final, calificación de soldadores y ensayos no destructivos, son realizados en talleres de JULIO BERKES S.A, de la ciudad de Montevideo, República Oriental del Uruguay, los cuales cuentan con la certificación de estampa ASME.

La unidad, luego de fabricada, es sometida a un tratamiento térmico de alivio de tensiones (recocido) en un todo de acuerdo a lo solicitado en el código ASME. Dicho tratamiento térmico es realizado en el horno propio con que cuenta la empresa, contando con un sistema de control y registro exacto de las temperaturas alcanzadas en cada punto y en cada instante del tratamiento térmico.

Todos los materiales utilizados son de primera calidad contando con los certificados de calidad correspondientes. Los Ensayos no destructivos y las calificaciones de soldadores son realizados por personal técnico avalado. Debido al diseño de las calderas BERKES, que en todos los casos cuentan con hogar de dimensiones adecuadas para la operación con combustibles fósiles (fuel oil, gas natural, GLP, etc.) es posible instalar en el frente un quemador que opere con ese tipo de combustible. Esto brinda una enorme tranquilidad al propietario de la caldera, ya que le da flexibilidad en la elección de los combustibles a futuro, sin tener necesidad de invertir en una nueva caldera.

3.1 Precalentador de aire.

Se instalará un precalentador de aire a la salida de los gases de la caldera de las siguientes características:

- Fabricación modular para fácil transporte, montaje y mantenimiento.
- Tubos: liso O.D. 63.5mm SA-178 Gr. A.
- Casing y tolva de ceniza: chapa 4.76mm SA-36.
- Estructura de apoyo: perfil de hierro normal UPN, IPN.
- Entradas de hombre para acceso y limpieza.

4. AUXILIARES

4.1 Ductos de aire y ductos de gases.

Todos los ductos serán fabricados en chapa de acero al carbono calidad SA-36 y espesor 4,35mm, terminación con pintura anti óxido. Todos los ductos incluyen, en caso de requerirlo, junta de dilatación y estructura de soporte. Los ductos incluidos son:

Ductos de aire (válidos para la opción 2)

- Ducto de aire primario: ventilador a gasógeno.
- Ducto de aire secundario: ventilador a cámara torsional.

Ductos de gases

- Ducto caldera a VTI.
- Ducto VTI a chimenea.

4.2 Chimenea de evacuación de gases.

Chimenea autoportante construida en chapa de acero al carbono con las siguientes características:

- Altura total: 12m.
- Diámetro interior: 550mm.
- Material: chapa acero carbono SA-36, espesor 6,36 mm.
- Terminación: arenado SA 2 ½", pintura aluminio de alta temperatura.
- Brida base: chapa 1" con cartelas de refuerzo y pernos de anclaje a base.
- Aislación: NO INCLUIDA.
- Plataforma de acceso: NA.

Opción 2 : Chimenea auxiliar para el Gasógeno:

- Altura total: 7.5m.
- Diámetro interior: 400mm.
- Material: chapa acero carbono SA-36, espesor 4,75mm.
- Terminación: arenado SA 2 ½", pintura aluminio de alta temperatura.
- Aislación: NO INCLUIDA.
- Plataforma de acceso: NA.

4.3 Estructuras, plataformas y escaleras.

Se fabricarán las estructuras, plataformas de acceso y escaleras para todos los equipos suministrados por BERKES con las siguientes características:

- Estructuras en perfilería normal de acero al carbono tipo UPN, IPN, etc.
- Barandas caño Ø42mm x 2mm.
- Rodapié 150mm.
- Piso: rejilla galvanizada electro soldada 30x100x30mm.
- Terminación: arenado SA 2 ½", pintura epoxi.

4.4 Aislación y refractario.

Se incluye el suministro y montaje de la aislación para todos los equipos descriptos y que requieran aislación y/o refractario:

ITEM	AISLACION	RECUBRIMIENTO
Antehogar (Opción 1)	Lana mineral 3"	Chapa galv. cal 26.
Gasógeno (Opción 2)	Lana mineral 3"	Chapa galv. cal 26.
Cámara torsional (Opción 2)	Lana mineral 3"	Chapa galv. cal 26.
Caldera	Lana mineral 3"	Chapa Al. 0.7mm.
Ductos de gases	Lana mineral 2"	Chapa galv. cal 26.
Piping	Lana mineral	Chapa alum. 0.7mm.

Refractario

Se instalará refractario principalmente en la cámara torsional y en aquellas zonas que se entiendan necesarias (mirillas y puertas de inspección de Gasógeno, etc).

Materiales: ladrillo y concreto refractario 40%, 60% y 80% de alúmina dependiendo de zona a aislar. Ladrillo aislante tipo G20. Anclajes alambre acero inoxidable SS 304.

4.5 Equipos

Bombas de alimentación de agua

Se instalarán 3 bombas para la alimentación de las calderas, una de ellas de respaldo. Contarán con sus correspondientes de válvulas de cierre, filtro y retención. Características principales:

Tipo: Centrífuga, multietapa vertical.
Motor: Eléctrico trifásico directamente acoplado.
Presión de diseño: 13 bar(g).
Caudal de diseño: 10 m³/h.

Ventilador de tiro inducido

Tipo: Centrífugo simple ancho simple entrada HEAVY DUTY.
Motor: Eléctrico trifásico directamente acoplado apto para trabajar con VF.

Opción 2:

Ventilador Primario (válido para la opción 2)

Tipo: Centrífugo simple ancho simple entrada HEAVY DUTY.
Motor: Eléctrico trifásico directamente acoplado apto para trabajar con VF.

Ventilador Secundario (válido para la opción 2)

Tipo: Centrífugo simple ancho simple entrada HEAVY DUTY.
Motor: Eléctrico trifásico directamente acoplado apto para trabajar con VF.

4.6 Válvulas manuales, de control y seguridad.

Se incluyen las válvulas necesarias para la operación de todos los equipos suministrados por BERKES.

4.7 Instrumentación y control.

Se incluye toda la instrumentación necesaria para la operación de los equipos suministrados por BERKES.

Caldera

- Presostato de seguridad, control de nivel tipo McDonnell (bajo/muy bajo nivel y encendido de bombas), indicador de presión manométrica Ø100mm, indicador de nivel tipo REFLEX, sensor de conductividad.

Sistema de combustión

Opción 1:

- Sensor de temperatura y presión en el antehogar.

Opción 2:

- Sensor de presión en aire primario y presión en gasógeno.

Circuito de gases

- Sensores de presión y temperatura salida de caldera.

El sistema de control estará compuesto por los siguientes elementos principales:

- Controlador ABB
- SCADA.
- HMI: 1 Ordenador y 3 monitores.

Principales lazos de control:

Lazo de presión de vapor de la caldera: su función es controlar la presión de vapor la caldera, tomando la señal de un transmisor de presión. La señal de salida (0-10 V ó 4-20 mA) va directamente al controlador central, quién comanda los variadores de frecuencia de los diferentes ventiladores (primario y secundario). Esto permite responder con gran precisión a los cambios de presión de vapor inducidos por las variaciones de demanda de vapor de la planta, manteniendo el exceso de aire en valores acotados.

Lazo de presión de hogar: Un transmisor de presión diferencial se instala en el circuito de gases, el cual envía la señal al controlador central y este actúa sobre el variador de frecuencia del ventilador de tiro inducido para ajustar el valor de depresión necesario.

Nivel de agua de caldera: tipo on-off con dos niveles comandados a través del PLC con la señal del sensor de nivel de caldera.

Conductividad de agua: se instala una válvula on-off actuada cuya apertura y cierre estará comandado por la lectura de conductividad del agua en el domo.

Temperatura de tanque de agua: se actúa sobre la válvula de control de vapor de entrada a partir de la señal proveniente del sensor de temperatura del tanque de agua.

4.8 Paneles eléctricos.

Todos los muebles (ESP y CP01) tipo IEC – 60439-1, grado de protección IP55, color RAL7035. Cada panel cuenta con acceso frontal y acometida de cables por parte inferior:

- Los autómatas con sus módulos CPU, y de entradas, salidas, analógicas y digitales.
- Las fuentes necesarias para el sistema de control.
- Sector de generación de tensiones con los mininterruptores de riel necesarios para los distintos tipos y grupos de tensiones y necesidades del proyecto, alimentaciones de instrumentos de campo, servicios auxiliares, etc.
- Los bornes de conexión de cables de campo.
- Los relés de interfase y automatismos necesarios.
- Los elementos de señalización y comando en puertas de ser necesario.
- Las interfases de comunicación, tanto de redes Ethernet como protocolos de comunicación de sistemas de control industrial (MODBUS, PROFIBUS, etc.).
- Las entradas de alimentación de tensiones necesarias.
- 400/230 Vac desde UPS para el sistema de control.
- 230 Vac para servicios auxiliares o Tensiones de CC, de ser necesarias, o requeridas por el tamaño de proyecto.
- Barra de tierra de protección y de drenaje para instrumentación.
- Equipos auxiliares, como ser: calefactores, iluminación interna, ventilación y extracción de aire, tomas de servicios, etc.
- Ductos porta cables, rieles de montaje de componentes.
- Espacios requeridos de reserva.

4.9 Cañerías de interconexión de equipos.

Se incluyen todas las cañerías de interconexión de equipos suministrados por BERKES listadas a continuación.

- Opción 1: Montante y bajantes del antehogar, material SA-106 Gr. B.
- Opción 2: Montantes y bajantes de gasógeno y CT, material SA-106 Gr. B.
- Línea de succión de bombas, material SA-106 Gr. B.
- Línea de alimentación de agua a caldera, material SA-106 Gr. B.
- Línea de purga de caldera (fondo y continua), material SA-106 Gr. B.

TODAS LAS CAÑERÍAS DE PRESIÓN SERÁN DISEÑADAS DE ACUERDO AL CÓDIGO ASME 31.1 POWER PIPING.

4.10 Tanque de agua de alimentación a caldera.

- Norma de diseño: ASME – SEC. VIII DIV I.
- Tipo horizontal: 10 m³.
- Envolvente: SA-516 Gr. 70 de 5/16".
- Casquetes: torisféricos SA-516 Gr. 70 de 5/16".
- Internos: SI.
- Aislación: lana mineral 3" 64 kg/m³ con malla metálica, protección chapa aluminio 0.7mm.
- Conexiones: bombas, retorno de condensado, válvulas de seguridad, venteo, columna y control de nivel, vapor, entrada hombre.
- Instrumentación: tubo visor de nivel, switch de nivel (alto y bajo), sensor de nivel, sensor de temperatura, indicador de presión, indicador de temperatura, accesorios y válvulas de conexión.

Nota: Julio Berkes S.A. se reserva el derecho de realizar modificaciones constructivas manteniendo los valores de las garantías ofrecidas.



Br. Artigas 2879 piso 2 – CP 11800
Tel.: ++598 2 2005500 – Fax: ++598 2 2033813
E-mail: tfu@ciruy.com - Web: www.ciruy.com/tfu
Montevideo – URUGUAY

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CALDERA Y EQUIPOS AUXILIARES

CAPITULO 1: CALDERA DE VAPOR

1. CARACTERÍSTICAS

1.1 Tipo de Caldera

Se trata de una caldera de recuperación de calor para generación de vapor, de tipo horizontal, humotubular, de uno o más pasos de circulación forzada, fondo húmedo de tubos de agua o seco dependiendo de la temperatura de gases.

La caldera es de construcción paquete montada sobre un bastidor metálico, con sus accesorios preensamblados en fábrica, pronta para su conexionado en sitio.

1.2 Licencia y Fabricante

La caldera es construida por Turbuflow Uruguay S.A. y CIR S.A., bajo licencia de CMI – Cockerill Maintenance & Ingenierie (ex -Denaeyer) de Bélgica.

Turbuflow Uruguay S.A. dispone de autorización para el uso de la licencia de fabricación de calderas de CMI desde 1979.

El taller de fabricación de CIR S.A dispone de certificación ASME para fabricación de calderas y recipientes a presión, según ASME Boiler and Pressure Vessel Code, “S” Stamp No. 34122 y “U” Stamp No. 34123.

1.3 Controles de Fabricación

Inspecciones de Fabricación

El generador se entrega con los siguientes certificados y/o inspecciones de control de fabricación.

- Certificado de calidad de materiales
- Reporte de inspecciones radiográficas
- Reporte de inspecciones de otros END, controles dimensionales
- Protocolo con procedimientos de soldadura
- Calificación de soldadores
- Prueba hidrostática

Las uniones soldadas en la envolvente y placas tubulares son inspeccionadas mediante líquido penetrante y/o partículas magnetizables, y rayos X.

El cuerpo de presión es armado enteramente en nuestra fábrica y ensayado hidrostáticamente a la presión de prueba correspondiente antes de su entrega.

2. CUERPO DE PRESION

2.1 Descripción

Está compuesto por una envolvente cilíndrica construida en chapa de acero, y uniones soldadas eléctricamente en máquina automática, en la cual van dispuestos los pasos de gases en tubos.

Placas Tubulares

Están construidas en chapa de acero, soldadas eléctricamente a la envolvente. Los agujeros se realizan con brocas especiales, con la mínima tolerancia.

La placa delantera estará revestida mediante concreto refractario para protección de la misma.

Tubos

Los tubos de la caldera son todos de igual diámetro, espesor y longitud.

Unión Placa-Tubos

La unión placa-tubo es a la vez mandrilada y soldada.

Este procedimiento asegura con certeza el mantenimiento de la hermeticidad de la unión placa-tubo.

Caja de Gases Delantera

La caja de gases delantera dispondrá de una conexión al conducto de gases provenientes del proceso.

Sobrecalentador

Se trata de un sobrecalentador externo a la caldera para el que se utilizarán gases calientes provenientes desde otra parte del proceso.

Está compuesto por un banco de serpentines con sus respectivos colectores de entrada y salida, válvula de seguridad, válvula de arranque manual, válvulas de ventilación y de purga.

El banco de serpentines va alojado dentro de una envolvente metálica con aislación térmica exterior

Ver características en Anexo.

Caja de Gases Trasera

En función de la temperatura de gases en la caja de gases a la salida de la caldera, ésta es de tipo seco, compuesta por una envolvente metálica y puerta trasera aisladas mediante manta de lana mineral, sin necesidad de mampostería de ningún tipo.

La puerta trasera tiene un pescante para soporte de la misma y cierre mediante tornillos, permitiendo con su apertura acceso a la totalidad de los tubos de caldera para inspección y/o mantenimiento.

Accesorios e Internos

Sobre la envolvente se encuentran las conexiones con bridas para montaje de los accesorios propios de caldera.

El cuerpo cilíndrico cuenta con entradas de mano para inspección interior de la misma.

En el interior del cuerpo cilíndrico se encuentran los siguientes dispositivos:

- separador de gotas (ver descripción aparte)
- distribuidor (flauta) de alimentación de agua de entrada a caldera.
Permite la entrada de agua sin choques térmicos contra las placas tubulares
- extractor (flauta) para purga continua
Permite la extracción continua de sólidos en el nivel superior de la caldera.

Las flautas para entrada de agua a caldera y de la purga continua disponen de conexiones con doble juego de bridas, de modo de permitir su retiro para inspección o mantenimiento sin necesidad de desarmar las cañerías respectivas.

Ver Anexo.

2.2 Separador de Gotas

Con el fin de minimizar el arrastre de gotas de agua por el vapor saturado, la posición del nivel de agua, la tasa de liberación superficial específica del vapor, y el volumen de la cámara de vapor, están seleccionados en forma conservadora, y de forma de atender a ese requerimiento.

Calderas de Vapor Saturado

En calderas de vapor saturado o con pequeño sobrecalentamiento del vapor el cuerpo cilíndrico dispone en su interior de un dispositivo separador de gotas compuesto por una o más cajas con baffles y perforaciones, de modo de provocar varios cambios de dirección del flujo de vapor antes de su salida, y separar de esa forma las gotas de agua arrastradas.

Calderas de Vapor Sobrecalentado

En cambio, cuando el generador de vapor dispone de sobrecalentador, en el interior del cuerpo cilíndrico va instalado un dispositivo separador de gotas, del tipo “demister”, compuesto por una malla en acero inoxidable, a través del cual se hace pasar el vapor saturado antes de salir hacia el sobrecalentador.

Dado su principio de funcionamiento, y baja velocidad de pasaje del vapor a través del mismo, no existen problemas de erosión, tratándose de un accesorio que normalmente no requiere mantenimiento.

De todas formas y para permitir su ingreso dentro del cuerpo cilíndrico para su instalación, el separador de gotas va montado en forma modular dentro una caja de soporte.

La interconexión entre cuerpo cilíndrico y sobrecalentador se realiza mediante un conjunto de tubos conectados en la parte superior del primero, a la salida del separador de gotas. Esto permite implementar bajas velocidades de salida de vapor, caudales uniformes de captación del vapor saturado, y equilibrar el pasaje de vapor a través del separador de gotas.

2.3 Aislación Térmica

Envolvente Cuerpo de Presión

Está aislada con manta de lana mineral, recubierta con forro en chapa de acero inoxidable.

Caja de Humos Trasera

Envolvente: aislada con manta de lana mineral, y forro en chapa de acero inoxidable

Pared trasera: aislada con manta de lana mineral y forro de chapa gruesa.

Ver características en Anexo.

3. ACCESORIOS

3.1 Válvulas de Caldera

Se incluyen todas las válvulas necesarias para el correcto funcionamiento de la caldera.

Ver características en Anexo.

3.2 Válvulas de Seguridad

La capacidad de descarga total de las válvulas de seguridad está seleccionada de forma que permita evacuar la totalidad de la producción de vapor generado operando a máximo fuego, sin sobrepasar la presión de diseño del generador.

La caldera dispondrá de válvulas de seguridad montadas en el cuerpo cilíndrico humotubular y válvula de seguridad en el sobrecalentador para protección de éste.

Ver características en Anexo.

4. CONTROLES E INSTRUMENTACIÓN DE CALDERA

El sistema de regulación de caldera comprende los siguientes lazos de control automático:

- regulación de nivel de agua de caldera
- regulación de la presión de vapor de caldera
- regulación de la temperatura de gases de salida de caldera
- regulación de la temperatura de vapor de salida del sobrecalentador

Ver características en Anexo.

4.1 Regulación de Nivel de Agua de Caldera

La regulación del nivel de agua de caldera es de modulación continua variando la velocidad de giro de la bomba de agua de alimentación, mediante convertidor de frecuencia.

Ver características en Anexo.

4.2 Regulación de la Presión de Vapor

La regulación de la presión de vapor se realiza limitando la misma al descargar vapor de caldera hacia el exterior. Se supone que la descarga se realizará a un condensador (no incluido en el presente suministro) con el fin de aprovechar el agua tratada y el calor.

El suministro comprende:

- transmisor de presión manométrica, salida 4-20 mA
- válvula de control para alivio de presión, DN 3", cuerpo en acero carbono, clase 300, conexiones bridadas, accionamiento neumático a diafragma, posicionador electroneumático, señal de entrada 4-20 mA. Marca Samson o similar.
- controlador en PLC: por Cliente.

4.3 Regulación de la Temperatura de Gases de Salida de Caldera

Comprende el suministro de los elementos primarios de control de la temperatura de gases en la salida del cuerpo evaporativo, compuesto por:

- registro de regulación dispuesto en la caja de humos de salida del cuerpo evaporativo montado en la salida del bypass de gases de caldera
- termocupla con conversor 4-20 mA
- actuador para comando del registro de regulación: por Cliente
- controlador en PLC: por Cliente.

La temperatura de gases se mantendrá en 430 °C regulando el caudal de gases a través del bypass de caldera.

4.4 Regulación de la Temperatura de Vapor Sobrecalentado

Para protección de la turbina de vapor se cuenta con un sistema de regulación automática de la temperatura de vapor de salida de caldera implementado mediante un by-pass del sobrecalentador del lado de gases, compuesto por:

- termocupla con conversor para señal de salida 4-20 mA
- registro de regulación del bypass de gases.
- actuador para comando del registro de regulación: por Cliente
- controlador en PLC: por Cliente.

4.5 Bloqueo por Bajo Nivel de Agua

Del mismo lazo de control de nivel indicado en Numeral 4.1 se tomará la señal de bloqueo por bajo nivel de agua de caldera.

Ver características en Anexo.

4.6 Bloqueo por Muy Bajo Nivel de Agua

Comprende el suministro de un segundo bloqueo por muy bajo nivel de caldera (control redundante) independiente del control indicado en 4.5.

Ver características en Anexo.

4.7 Presostato de Seguridad

La caldera se suministrará con un presostato de máxima ajustado a una presión inferior a la de descarga de las válvulas de seguridad, del cual el Cliente deberá tomar la señal para generar la correspondiente alarma y/o bloqueo de la caldera cortando los respectivos flujos de gases calientes a la caldera, sobrecalentador y economizador.

4.8 Alarmas y Bloqueos de Caldera

Se incluyen los elementos primarios de donde tomar las señales para generar en el tablero eléctrico, las alarmas (luminosa y sonora) y/o bloqueo por:

- alta presión de vapor
- bajo nivel de caldera
- muy bajo nivel de caldera

Nota:

En todas las condiciones operativas en las que se genere una señal de bloqueo de caldera, ésta deberá procesarse en el tablero de control (del Cliente) de modo de interrumpir el flujo de gases calientes hacia la caldera.

4.9 Instrumentación de la Caldera

Ver detalle en Anexo.

5. TABLERO ELECTRICO

Se suministra un tablero eléctrico para accionamiento y protección de los equipos auxiliares propios de la caldera de recuperación, incluidos en la presente propuesta. Se incluye:

- interruptor termomagnético general
- interruptores termomagnéticos para cada equipo
- convertidor de frecuencia de bombas de agua de alimentación
- botoneras, llaves selectoras y pulsadores de arranque/parada de las bombas de agua de alimentación
- lámparas de señalización para elementos en servicio, alarmas, bloqueo de caldera.
- alarma sonora.

6. SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA

6.1 Básico

Comprende el suministro de un sistema de agua de alimentación de caldera compuesto por dos bombas de accionamiento eléctrico, montadas sobre un bastidor metálico propio, y correspondientes válvulas y accesorios propios.

Válvulas y accesorios de las bombas de alimentación. Se incluye:

- válvula de corte lado succión
- válvula de corte lado impulsión.
- filtro en la succión

Ver descripción en Anexo.

6.2 Válvula de Flujo Mínimo

Comprende el suministro de una válvula para cada bomba, de tipo combinado, de retención y de recirculación automática de flujo mínimo, para protección de la bomba en caso de funcionamiento con caudal reducido.

7. CONDUCTOS DE INTERCONEXION DE GASES DE CALDERA

Por Cliente.

CAPITULO 2: TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION, DESAERADOR, Y AUXILIARES

Comprende el siguiente suministro:

- tanque de agua de alimentación
- torre desaeradora
- lazo de control de nivel del tanque de agua de alimentación
- lazo de control de presión de vapor en torre desaeradora
- estructura de soporte y plataforma de tanque de agua de alimentación (por Cliente)

1. Tanque de Agua de Alimentación

Consiste en un tanque para almacenamiento de agua de alimentación según siguiente descripción.

Fabricante	Turboflow Uruguay / CIR			
Forma constructiva	horizontal con patas			
Norma de diseño	ASME B&PVC, Section VIII Div. 1			
Capacidad nominal, m ³	23.5			
Capacidad neta, m ³	18 (agua a nivel de servicio)			
Temperatura de servicio, °C	105			
Presión de servicio, barg	0.2			
Presión de diseño, barg	3.4 (50 psig)			
Fondos, tipo	torisféricos			
Envolvente	diámetro, mm	2500	espesor, mm	6.3
Fondos			espesor, mm	6.3
Distancia entre fondos, mm	4500			
Materiales	envolvente	SA 36		
	fondos	SA 36		
Entrada de visita	circular			
Terminación superficie interior	sin			
Terminación superficie exterior	cepillado manual y una mano de fondo anticorrosivo.			
Aislación térmica	manta de lana mineral, espesor 75 mm			
Forro protección aislación	chapa de acero inoxidable, e = 0.6 mm			

Accesorios incluidos:

- Lazo de control de nivel de agua (ver descripción más adelante)
- Indicador de nivel, de tubo de vidrio, con protección mecánica, y correspondientes grifos de cierre y válvula de purga.
- Alarma por alto nivel
- Alarma por bajo nivel
- Columna de nivel sobre la cual van montados el indicador de nivel, controles de nivel para alarmas, tomas de señal al transmisor de presión diferencial correspondiente al lazo de control de nivel de agua del tanque, y válvula de purga.
- Manómetro, dial 100 mm, rango 0 – 2 bar, con válvula de cierre

- Lanza perforada interior para calentamiento con vapor en forma manual, durante la puesta en servicio del tanque desde condición fría.
- Conexiones de entrada y salida de agua, a pierna piezométrica, entrada vapor, vaciado,
- Entrada de visita
- Estructura auxiliar interior para soporte de la torre desareadora
- Interconexión entre tanque de agua de alimentación y torre desareadora

Sobre la envolvente del tanque se ubican todas las conexiones necesarias para interconexión con las cañerías del sistema, de conexión a la torre desaeradora, y para montaje de sus accesorios propios.

El tanque se monta elevado a aproximadamente cota + 5.00 m sobre el nivel de piso de las bombas de agua de alimentación, y sobre una plataforma de hormigón directamente encima de las bombas.

La plataforma mencionada y su estructura de soporte pueden ser construidas en hormigón o metálica.

2. Torre Desaeradora

Fabricante	Turboflow Uruguay / CIR
Tipo	Spray-tray, construcción vertical
Norma de diseño	ASME B&PVC, Section VIII Div. 1
Capacidad nominal, T/h	15
Retorno de condensado, °C	70
Temperatura de servicio, °C	105
Presión de servicio, barg	0.2
Presión de diseño, barg	3.4 (50 psig)
Contenido de O2	0.005 cc/l
Materiales:	
- envolvente	acero SA 36
- camisa interior	acero inoxidable AISI 304
- fondos	acero SA 36
- válvulas de atomización	acero inoxidable AISI 304
- bandejas	acero inoxidable
Vapor de calentamiento	5 bar, sat
Vapor de calentamiento, kg/h	1200
Aislación térmica	manta de lana mineral, espesor 75 mm
Entrada de visita	sí
Forro protección aislación	chapa de acero inoxidable, e = 0.6 mm

La torre desareadora es de tipo “spray-tray” y va montada mediante patas de apoyo sobre el tanque de agua de alimentación de caldera.

La remoción del oxígeno se realiza en dos etapas.

En la primera el agua es atomizada en finas partículas asegurando así un gran contacto y superficie de intercambio con el vapor de calentamiento, y una segunda etapa con el agua cayendo a través de bandejas perforadas, en contracorriente con el vapor, completando la remoción del oxígeno antes de descargar el agua al tanque de agua de alimentación.

Sobre la envolvente de la torre desaeradora se dispone una entrada de hombre para inspección y mantenimiento.

Todos los internos de la torre son removibles para facilitar su montaje y mantenimiento.

3. Lazo de Control de Presión de Vapor del Desaerador

Lazo de control de presión de vapor, compuesto por:

- Transmisor de presión manométrico, salida 4-20 mA
- Controlador en PLC: por Cliente
- Válvula de control, cuerpo acero al carbono, clase 150, conexiones bridadas, actuador neumático, posicionador electroneumático, señal de entrada 4-20 mA, reductor y filtro de aire.
- Válvulas de corte en entrada y salida, válvula de bypass.

Vapor disponible a 5 bar, sat.

4. Lazo de Control de Nivel de Tanque de Agua de Alimentación

Lazo de control del nivel del tanque de agua de alimentación, compuesto por:

- Transmisor de presión diferencial, salida 4-20 mA
- Controlador en PLC: por Cliente
- Válvula de control, DN 1.5", cuerpo acero al carbono, clase 150, conexiones bridadas, actuador neumático, posicionador electroneumático, señal de entrada 4-20 mA, reductor y filtro de aire.
- Válvulas de corte en entrada y salida, válvula de bypass.

5. Estructura de Soporte y Plataforma de Tanque de Agua de Alimentación

Por Cliente.

ANEXO A: DATOS TECNICOS

A.1 CALDERA

Caldera tipo	caldera de recuperación de calor, cuerpo cilíndrico humotubular con un paso de gases en tubos	
Marca	Turboflow Uruguay	
Fabricante	Turboflow Uruguay S.A. / CIR	
Licencia	CMI – Cockerill Maintenance & Ingenierie, Bélgica	
Modelo	CR 11.4/48/34	
Norma de diseño	TRD / ASME	
Producción	kg / h	14500
Potencia térmica neta	kW	7856
Presión vapor en salida caldera	bar	30
Temperatura vapor saturado	°C	236
Temp. entrada agua alimentación	°C	200
Presión de servicio solicitada	bar	30
Presión de diseño caldera	bar	34
Presión de prueba hidrostática	bar	51
Combustible:	no	
Gas de proceso:	Gases calientes provenientes del proceso Temperatura entrada a caldera: 1000 °C	
Superficie de calefacción caldera, m ² :	427	

A.2 DATOS DE DESEMPEÑO

Composición de gases (% en peso): N ₂ = 69, O ₂ = 11, SO ₂ = 20		
Carga caldera	%	100
Producción vapor	kg/h	14500
Caudal de gases	kg/h	46000
Temperaturas de cálculo:		
– Gases entrada caldera	°C	1000 (dato del Cliente)
– Gases salida caldera	°C	430 (dato del Cliente)
Pérdidas y Rendimiento:		
– radiación y convección caldera	%	0.6
– salida caldera	%	40.5
Rendimiento caldera	%	58.9
Liberación superficial de vapor	m ³ /hm ²	97
Pérdida de carga (caldera)	mbar	10

A.3 PESO Y DIMENSIONES CALDERA

Largo total, mm	6200	Altura (sin válvulas), mm	3700
Ancho, mm	3000	Peso (caldera vacía), T	32.6
Volumen, m ³	cámara de vapor, m ³	2.7	
	agua (a nivel normal), m ³	12.4	
	caldera llena con agua, m ³	15.1	

A.4 BANCO EVAPORATIVO HUMOTUBULAR

Cantidad pasos	uno			
Envolvente:	diámetro, mm	2540	espesor, mm	38
Tubos:	diámetro, mm	60.3	espesor, mm	3.9
Cantidad tubos:	1er. paso	500	2o. paso	---
Distancia entre placas, mm	4850	Espesor placas tubulares, mm	38	
Fijación tubo – placa	mandrilado y soldado			
Tratamiento térmico	recocido en horno de alivio de tensiones			
Materiales:	envolvente	SA 516 Gr70	placas tubulares	SA 516 Gr70
	tubos	SA 106 Gr.B		
Conexiones:				
Entrada de visita (envolvente)	una	Entrada agua	DN 2", 300#	
Entradas de mano	dos	Purga continua	DN 1", 300#	
Conexión salida vapor	múltiples salidas	Purga de fondo	DN 1.5", 300#	
Válvulas seguridad	2 x DN 1.5"	Ventilación	DN 0.75", 300#	
Caja de gases trasera	envolvente metálica (fondo seco)			
Aislación térmica (envolvente)	manta lana mineral, espesor 100 mm			
Aislación térmica (caja humos)	manta lana mineral, espesor 100 / 150 mm			
Forro aislación térmica	acero inoxidable, espesor 0.6 mm, pulido brillante			
Acceso a caja humos trasera	puerta de visita			

A.5 VALVULAS DE CALDERA

válvula salida caldera	DN 6", esclusa, cuerpo de acero, clase 300, conexiones bridadas
corte entrada de agua	DN 2", esclusa, clase 800
retención entrada agua	DN 2", esclusa, clase 800
válvulas de corte de nivel/es de vista	
purga de fondo (doble válvula en serie)	
purga continua (doble válvula en serie)	
válvula corte de sacamuestra de la purga continua	
purga de nivel/es de vista (grifo inferior de corte más segunda válvula de corte)	
purga de control/es de nivel/es (doble válvula en serie)	
purga de columna de nivel (doble válvula en serie)	
ventilación de caldera (doble válvula en serie)	
válvulas para instrumentación	

A.6.1 VALVULAS DE SEGURIDAD BANCO EVAPORATIVO (Cuerpo cilíndrico)

Cantidad	2	Características	ASME B&PVC Section I
Fluido / Temp..	Vapor / Saturado		
Características	Válvula Nº 1	Válvula Nº 2	
Marca	Dresser Consolidated	Dresser Consolidated	
Modelo	Serie 1811JB	Serie 1811JB	
Presión descarga	33.5 barg	34 barg	
Capacidad, kg / h	13559	13763	
Material cuerpo	acero carbono	acero carbono	
Conexión entrada	brida DN 1.5" clase 600	brida DN 1.5" clase 600	
Conexión salida	brida clase 150	brida clase 150	

A.6.2 VALVULAS DE SEGURIDAD EN SOBREALENTADOR

Cantidad	1	Características	ASME B&PVC Section I
Fluido / Temp.	vapor sobrecalentado / 335 °C		
Marca	Dresser Consolidated		
Modelo	Serie 1811GB		
Presión descarga	32 barg		
Capacidad, kg / h	4542		
Material cuerpo	acero carbono		
Conexión entrada	brida DN 1.5" clase 600		
Conexión salida	brida clase 150		

A.7 BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Cantidad	2 x 100% (una en servicio y otra de reserva)				
Caudal	m ³ / h	18.6	Velocidad	rpm	2900
Altura de impulsión	m	389	Potencia absorbida	HP	41.3
Temperatura agua	°C	105	Potencia motor	HP	50
NPSH	m	3.0	Tensión	V	380
Marca	KSB				
Modelo	WL 40/15				
Tipo	centrífuga multietapa, de eje horizontal				
Válvulas de corte	de corte en entrada y salida, válvula de retención				
Filtro succión	sí				

A.8 SOBRECALENTADOR

Fabricante	Turboflow Uruguay / CIR		
Cantidad de secciones	una		
Datos de desempeño:			
Gases de proceso	Caudal, kg / h	45600 (dato Cliente)	
	Temp. entrada, °C	590	
	Temp. salida, °C	506	
	Composición en peso, %:	N ₂ = 69, O ₂ = 7.5, SO ₂ = 6, SO ₃ = 17.5	
Lado vapor	Caudal, kg/h	14500	
	Temp. entrada, °C	236	
	Temp. salida, °C	335	
	Presión entrada, bar	30	
Datos constructivos:			
Disposición	serpentes de tubos horizontales		
Flujo	cruzado		
Tubos	Diámetro, mm	38.1	Espesor, mm 3.5
	Material	SA 192	
Colector de entrada	DN 6", sch 80, SA 106 Gr B		
Colector de salida	DN 6", sch 80, SA 106 Gr B		
Posición colectores	externos, fuera del flujo de gases		
Cerramiento	envolvente metálica en acero carbono		
Puerta de visita	no		
Aislación térmica envolvente	manta lana mineral, espesor 180 mm		
Forro protección aislación	chapa galvanizada plegada		
Sopladores de hollín	no		

A.9 INSTRUMENTACION

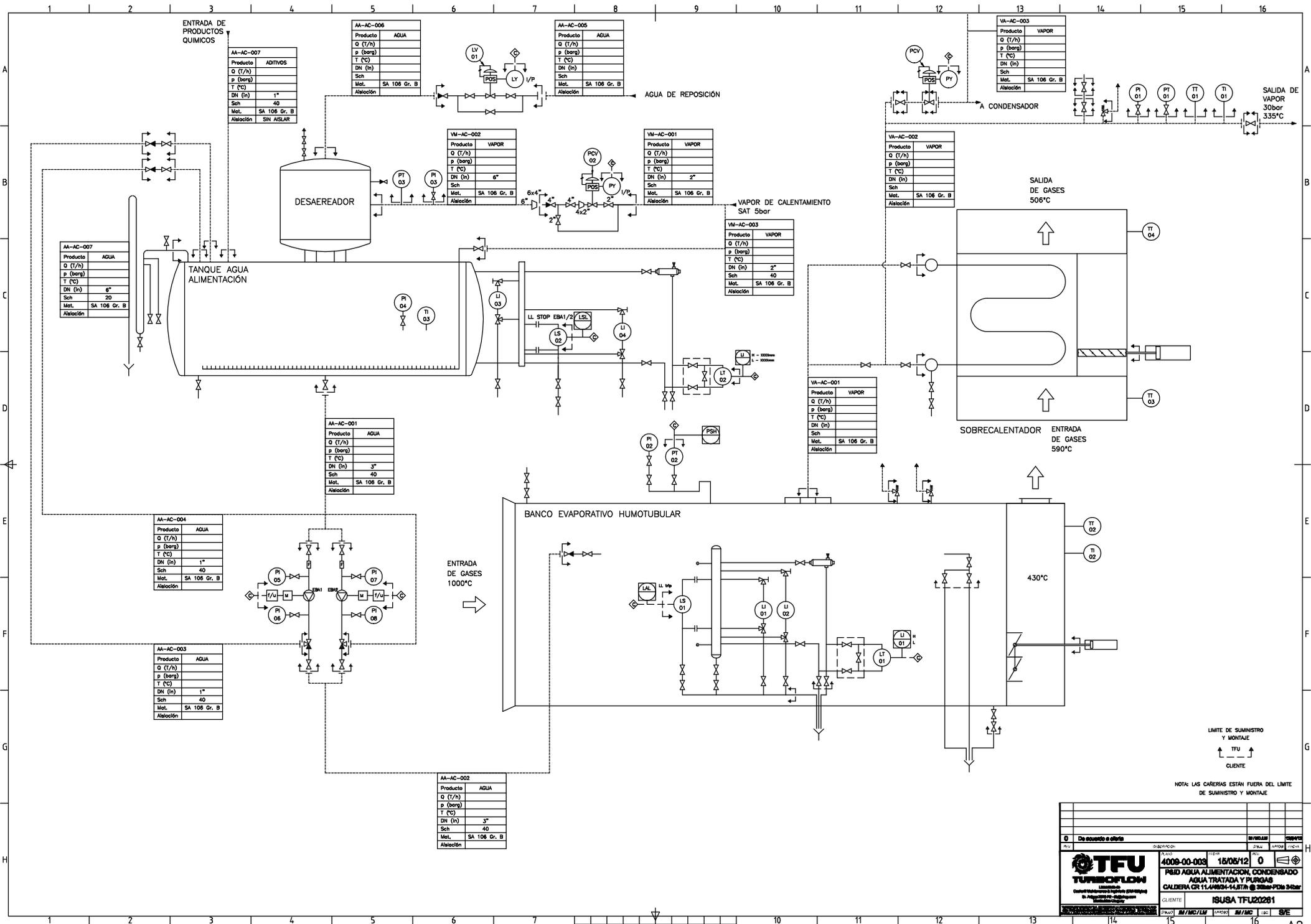
Manómetro caldera	dial 250 mm, rango 0-60 bar, con válvula de corte
Nivel visible de caldera	tipo réflex, de cristal plano, cuerpo de acero, con grifos de cierre y purga. Cantidad = 1.
Segundo nivel visible caldera	Sí. Igual al anterior
Termómetros de montaje local:	
- gases salida caldera	bimetálico
Termoelementos para indicación remota en PLC:	
- gases salida caldera	T/C
- gases entrada sobrecalentador	T/C
- gases salida sobrecalentador	T/C

A.11 SISTEMA DE CONTROL DE CALDERA

Regulación nivel de agua de caldera (a)	Ver Cap. 1, Numeral 4.1
Control presión de vapor	Ver Cap. 1, Numeral 4.2
Regulación de temperatura de gases de salida caldera	Ver Cap. 1, Numeral 4.3
Regulación de temperatura de vapor sobrecalentado	Ver Cap. 1, Numeral 4.4
Bajo nivel agua de caldera	Señal desde el control de nivel indicado en (a) Función: alarma y bloqueo
Muy bajo nivel agua caldera	Señal desde un segundo control de nivel, de tipo flotador marca Jefferson o similar Función: alarma y bloqueo
Alta presión de vapor	Presostato, marca Danfoss Función: alarma
Alarmas	luminosa y acústica

A.12 CARACTERISTICAS REQUERIDAS DEL AGUA

Agua de caldera:		Agua de alimentación:	
- Alcalinidad total (TA)	máxima 50 Gr. F	- Dureza	máxima mg/l 0,2
- pH	mínimo 10	- pH	8.2 mínimo
- Fosfato	15-3 mg / l	- Oxígeno disuelto	máximo 0,05 mg / l
- SiO ₂	máximo 3 x TA	- Aceite	máximo 5 mg/l



AA-AC-007

Producto	ADITIVOS
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	1"
Sch	40
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	SIN AISLAR

AA-AC-008

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	
Sch	
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-005

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	
Sch	
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

VA-AC-003

Producto	VAPOR
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	
Sch	
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

VM-AC-002

Producto	VAPOR
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	6"
Sch	SA 106 Gr. B
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

VM-AC-001

Producto	VAPOR
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	2"
Sch	SA 106 Gr. B
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

VA-AC-002

Producto	VAPOR
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	
Sch	
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-007

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	8"
Sch	20
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-001

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	3"
Sch	40
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-004

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	1"
Sch	40
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-003

Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	1"
Sch	40
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

AA-AC-002

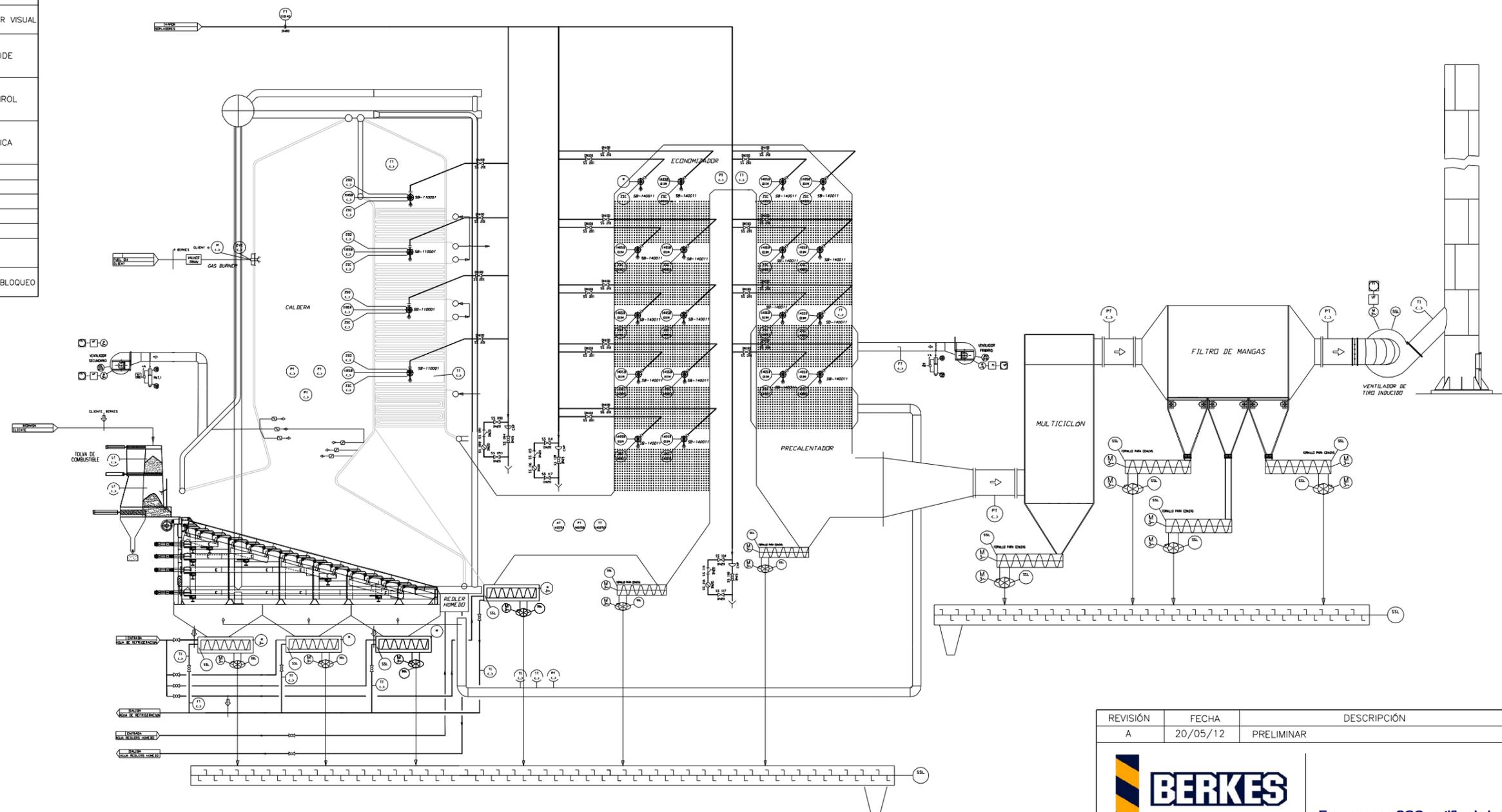
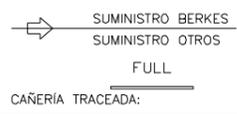
Producto	AGUA
Q (l/h)	
p (barg)	
T (°C)	
DN (in)	3"
Sch	40
Mat.	SA 106 Gr. B
Aislación	

LIMITE DE SUMINISTRO Y MONTAJE
 ↑ TFU ↓
 CLIENTE

NOTA: LAS CARERIAS ESTAN FUERA DEL LIMITE DE SUMINISTRO Y MONTAJE

REV	0	De estudio a obra	FECHA	15/05/12	PROYECTO	4008-00-003
CLIENTE	ISUSA TFLU20261					
PROYECTO	PBD AGUA ALIMENTACION, CONDENSADO AGUA TRATADA Y PUNDAE CALDERA CR 11/AMCA-14.ETN B 30bar-34bar					
CLIENTE	ISUSA TFLU20261					
PROYECTO	PBD AGUA ALIMENTACION, CONDENSADO AGUA TRATADA Y PUNDAE CALDERA CR 11/AMCA-14.ETN B 30bar-34bar					

VALVE	REFERENCIA
	VÁLVULA ESCLUSA
	VÁLVULA GLOBO
	VÁLVULA ESFÉRICA
	VÁLVULA DE RETENCIÓN
	VÁLVULA PISTÓN
	VÁLVULA VENTEO DE AIRE
	VÁLVULA AGUJA
	FILTRO Y
	VÁLVULA DE SEGURIDAD
	VÁLVULA INDICADOR VISUAL
	VÁLVULA SOLENOIDE
	VÁLVULA DE CONTROL
	VÁLVULA NEUMÁTICA
CONNECTION	
	SW
	BRIDA
	ROSCADO
ACCESSORIES	
	W/POSICIÓN
	W/DISPOSITIVO DE BLOQUEO



REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO	DISEÑO	APROBACIÓN
A	20/05/12	PRELIMINAR			
		Empresa con SGC certificado bajo Norma ISO 9001:2008 por LSQA reg. Nro:1211/01 y QA 08710/0			
		Av. Gral. Rondeau 1950 C.P. 11.800, Montevideo - Uruguay Tel.: (598 2) 928.1084* Fax: (598 2) 924.1099 email: berkes@berkes.com.uy website: www.berkes.com.uy			
		SISTEMA DE PROYECCIÓN			
PROYECTO	NOMBRE	FECHA	FIRMA	CLIENTE	
DISEÑO				TRABAJO	
APROBACIÓN				CALDERA ACUOTUBULAR CON PARILLA RECIPROCANTE 60 TH - 67 barg - 485°C	
TÍTULO			ESCALA	W/S	HOJA 1 de 1
P&ID CALDERA CIRCUITO DE GASES			FOR.	PLAN N°	REV.
			A3		A