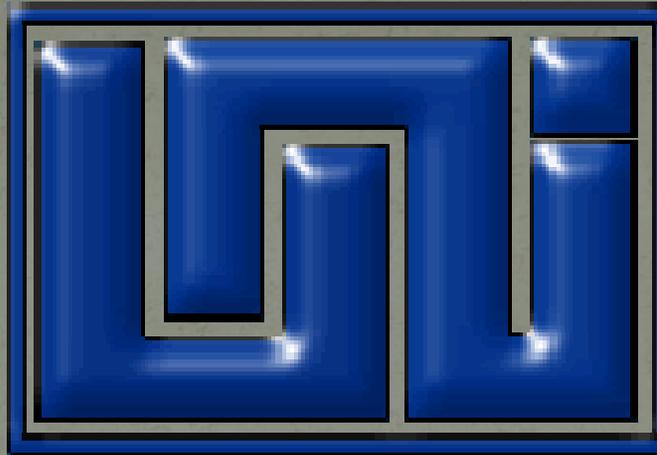


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS DE EVAPORACIÓN Y DE  
ÓSMOSIS INVERSA, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE COMPENSACIÓN,  
EN LA GENERADORA ELÉCTRICA CENTRAL, S.A.**

**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:**

**Silvano Enrique Cruz Sánchez**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

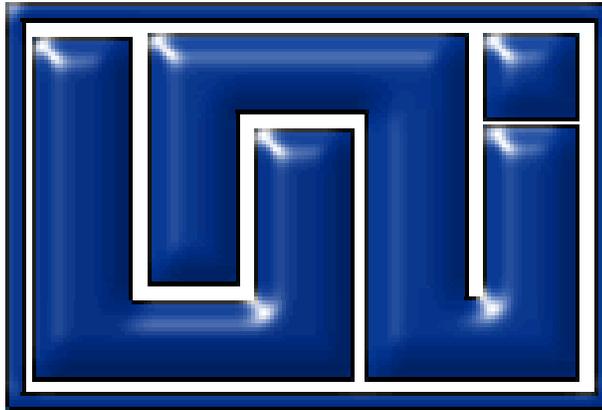
**INGENIERO QUÍMICO**

**TUTOR**

**MSc. Ing. Ernesto José Acevedo Lugo**

**Mayo 2007  
Managua, Nicaragua**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS DE EVAPORACIÓN Y DE  
ÓSMOSIS INVERSA, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE  
COMPENSACIÓN, EN LA GENERADORA ELÉCTRICA CENTRAL, S.A.**

**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:**

**Silvano Enrique Cruz Sánchez**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**TUTOR**

**MSc. Ing. Ernesto José Acevedo Lugo**

Mayo 2007  
Managua, Nicaragua

**Agradecimiento**

Al personal de la Empresa Generadora Eléctrica Central, S.A., por la paciencia y apoyo brindado durante la realización del presente trabajo.

A los Ingenieros Marcia Vargas y Ernesto Acevedo por sus guías para lograr la culminación del trabajo.

A todas las personas que colaboraron de una u otra manera en la elaboración del presente.

**Dedicatoria**

A mi padre, Silvano,  
que no logró ver el fruto de su esfuerzo y dedicación dado a sus hijos.

A mi madre, Salvadora,  
mujer digna de admiración por su dedicación a sus hijos.

### Resumen

En el presente trabajo, se pretende dar respuesta a un problema técnico que ocurre durante el arranque del proceso de compensación del ciclo térmico, que es la ausencia de energía de calentamiento necesaria para poner en funcionamiento el sistema de evaporación, por ello la gerencia de la planta, recomendó la necesidad de evaluar la posibilidad de sustituir el sistema de evaporación actual con un sistema de ósmosis inversa.

El procedimiento que se utilizó para valorar la posibilidad de utilizar un sistema de ósmosis inversa en la planta, fue primero analizar el sistema de evaporación a partir de una evaluación técnica, tomando en cuenta: la generación de vapor utilizado para compensar las pérdidas del ciclo térmico, el mantenimiento del sistema, los costos del mantenimiento, entre otros. En el apartado de la evaluación técnica se encontró que el ciclo térmico utiliza ciento cincuenta metros cúbicos de agua condensada por día, vapor generado en el evaporador y que es enviado al desaireador del tanque de alimentación de la caldera; tomando en consideración un diez por ciento de posibles fugas en el ciclo térmico, con una potencia de cuarenta y cinco megavatios.

Para el cálculo del sistema de ósmosis inversa, se recurrió a la investigación documental sobre la tecnología existente para el sistema de ósmosis inversa, por ser un sistema relativamente nuevo; aquí se enfatizó en la planta de ósmosis inversa (dispositivo donde se agrupan las membranas), su costo de adquisición, los costos de mantenimiento del sistema, entre otros. Se dimensionó el sistema de ósmosis inversa en base a los ciento cincuenta metros cúbicos de agua condensada por día, que utiliza actualmente el ciclo térmico; dando como resultado una planta de ósmosis inversa de una sola etapa con seis membranas. Este análisis se realizó por medio del programa computacional ROSA (Reverse Osmosis System Analysis), brindado por una compañía que fabrica membranas de ósmosis inversa.

Se realizó una comparación de los dos sistemas de tratamiento del agua cruda, considerando los resultados obtenidos en la parte técnica, en la comparación de costos de mantenimiento y en las consideraciones medio ambientales de dichos sistemas; donde el sistema de ósmosis inversa obtuvo un puntaje de veinte y tres puntos, con máximo de treinta puntos, comparados a los catorce puntos logrados por el sistema de evaporación; concluyendo de esta forma que al utilizar el sistema de ósmosis inversa para el tratamiento del agua cruda, sería muy factible, según la calificación dada por la metodología usada en el presente trabajo.

Se sugiere un análisis más minucioso en la calidad del agua, antes de implementar un sistema de ósmosis inversa, esto para garantizar la no presencia de metales pesados en el agua, que pudieran dañar las membranas.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Agradecimiento.....	i
Dedicatoria.....	ii
Resumen.....	iii
Tabla de contenido.....	iv
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
III. Marco teórico.....	3
3.1 Generalidades .....	3
3.1.1 Ciclo de Rankine con regeneración.....	3
3.2 Tratamiento del agua de alimentación para una caldera .....	5
3.2.1 Tratamiento Interno .....	6
3.2.2 Tratamiento externo.....	7
3.2.2.1 Sistema de evaporación.....	8
3.2.2.2 Sistema de ósmosis inversa.....	9
3.2.2.2.1 Ecuaciones de diseño y parámetros de un sistema de ósmosis inversa.....	12
3.3 Comparación entre el sistema de evaporación y el sistema de ósmosis inversa.....	14
3.3.1 Criterios para la comparación técnica entre el sistema de evaporación y de ósmosis inversa.....	16
3.4 Plantas duales.....	17

**TABLA DE CONTENIDO (Continuación)**

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
3.5 Comparación de costos para reemplazo de equipos o sistemas actuales.....	17
3.6 Evaluación de impacto ambiental.....	17
3.7 Análisis estadístico.....	18
3.7.1 Cálculo de las medias aritméticas.....	18
3.7.2 Método de regresión lineal.....	19
IV. Metodología.....	20
4.1 Recopilación de datos.....	20
4.2 Balance de materia y energía del sistema desaireador-evaporador.....	21
4.3 Sistema de ósmosis inversa.....	23
4.3.1 Planta de ósmosis inversa.....	23
4.4 Metodología para la evaluación técnica.....	24
4.5 Comparación de principales costos de operación y de mantenimiento...	24
4.6 Valoración ambiental de los procesos.....	25
4.7 Metodología para la comparación técnica.....	25
V. Resultados.....	26
5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA.....	26
5.1.1 Sistema de evaporación.....	26
5.1.1.1 Descripción breve del sistema térmico.....	26
5.1.1.2 Descripción del sistema de evaporación para el agua de compensación.....	28
5.1.1.3 Equipos utilizados por el sistema de evaporación.....	30

**TABLA DE CONTENIDO (Continuación)**

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
5.1.1.4 Periodo de operación del evaporador.....	30
5.1.1.5 Balance de materia en el Sistema de evaporación (Desaireador-Evaporador).....	31
5.1.1.5.1 Consumo de agua de aportación por el ciclo térmico.....	32
5.1.1.6 Balance de energía en el Sistema de evaporación (Desaireador-Evaporador).....	33
5.1.1.6.1 Calor necesario para cada carga generada por el sistema térmico.....	36
5.1.1.7 Tipos de mantenimiento realizados en el sistema de evaporación...	37
5.1.1.7.1 Reparaciones efectuadas en el sistema de compensación.....	39
5.1.2 Sistema de ósmosis inversa.....	39
5.1.2.1 Cálculos para diseñar el sistema de ósmosis inversa.....	39
5.1.2.2 Diseño del Sistema con los datos obtenidos.....	41
5.1.2.3 Diseño del Sistema con el mejor ajuste.....	45
5.2 COMPARACIÓN DE COSTOS.....	50
5.2.1 Sistema de evaporación.....	50
5.2.1.1 Costos de mantenimiento preventivo.....	50
5.2.1.2 Costos tratamiento químico.....	50
5.2.2 Sistema de ósmosis inversa.....	52
5.2.2.1 Costo de adquisición de equipos.....	52
5.3 RESULTADOS AMBIENTALES.....	53
5.3.1 Sistema de evaporación.....	53
5.3.2 Sistema de ósmosis inversa.....	53
VI. Discusión de resultados.....	55
6.1 Sistema de evaporación.....	55
6.1.1 Evaluación técnica.....	54
6.1.2 Análisis de costos.....	56

**TABLA DE CONTENIDO (Continuación)**

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
6.2 Sistema de ósmosis inversa.....	56
6.2.1 Estudio técnico.....	56
6.2.2 Análisis de costos.....	59
6.3 Valoración ambiental de ambos procesos.....	59
6.3.1 Sistema de evaporación.....	59
6.3.2 Sistema de ósmosis inversa.....	59
6.4 Comparación técnica de los dos sistemas de tratamiento.....	60
VII. Conclusiones.....	61
VIII. Nomenclatura.....	62
8.1 Nomenclatura del sistema de evaporación.....	62
8.2 Nomenclatura para el diseño del sistema de ósmosis inversa.....	63
IX. Bibliografía.....	64
X. Anexo.....	66

Lista de figuras y graficas

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1: Ciclo Rankine ideal con regeneración.....	4
Figura 2: Evolución de la utilización de las técnicas de desalación.....	7
Figura 3: Diagrama de bloque del sistema de evaporación.....	21
Figura 4: Flujos de una membrana de ósmosis inversa.....	23
Figura 5: Sistema de generación de energía eléctrica GECSA.....	27
Figura 6: Sistema de evaporación para el agua de compensación.....	29
Grafica 7: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 5).....	34
Grafica 8: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 6).....	35
Gráfico 9: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 15).....	35
Grafica 10: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 16).....	36
Figura 11: Diagrama esquemático del sistema de ósmosis inversa con los datos obtenidos.....	41
Figura 12: Diagrama esquemático del sistema de ósmosis inversa con el mejor ajuste .....	45
Figura 13: Propuesta de distribución del sistema de ósmosis inversa en la planta GECSA.....	58

Lista de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1: Tipos de tratamientos químicos según la presión de la caldera.....	6
Tabla 2: Calidad media del agua obtenida por diferentes procesos de desalación.....	12
Tabla 3: Características de los procesos de evaporación y de ósmosis inversa.....	15
Tabla 4: Comparación de los sistemas de tratamiento de agua.....	25
Tabla 5.: Vapor a proceso utilizado por el ciclo térmico.....	31
Tabla 6: Resultados del análisis de las medias del vapor a proceso.....	32
Tabla 7: Medias del vapor a proceso para cada carga.....	32
Tabla 8: Volumen máximo de agua consumida en un día por el ciclo térmico.....	33
Tabla 9: Volumen máximo de agua/día por el ciclo térmico (10 % consumo extra).....	33
Tabla 10: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 5).....	34
Tabla 11: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 6).....	34
Tabla 12: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 15).....	35
Tabla 13: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 16).....	36
Tabla: 14: Promedios de los flujos de calor para cada carga y hora de operación.....	37
Tabla 15: Promedio de flujo de calor para cada carga de operación.....	37
Tabla 16: Tipos y periodo de mantenimiento realizados al sistema de evaporación.....	38
Tabla 17: Promedio de concentración de cloruro a la salida de la zeolita.....	40
Tabla 18: Información del sistema requerido con los datos obtenidos.....	41
Tabla 19: Resultados obtenidos por el programa con los datos obtenidos.....	42
Tabla 20: Caudal de operación en el sistema de ósmosis inversa con los datos obtenidos.....	42
Tabla 21: Detalles del Sistema con los datos obtenidos.....	43
Tabla 22: Datos de operación del sistema con los datos obtenidos.....	43
Tabla 23: Concentraciones de componentes químicos durante la operación con los datos obtenidos.....	44
Tabla 24: Detalles de la etapa con los datos obtenidos.....	45
Tabla 25: Información del sistema requerido con el mejor ajuste.....	46
Tabla 26: Resultados obtenidos por el programa con el mejor ajuste.....	46
Tabla 27: Caudal de operación en el sistema de ósmosis inversa con el mejor ajuste.....	46
Tabla 28: Detalles del sistema con el mejor ajuste.....	47
Tabla 29: Datos de operación del sistema con el mejor ajuste.....	47
Tabla 30: Concentraciones de componentes químicos durante la operación con el mejor ajuste.....	48
Tabla 31: Detalles de la etapa buscando el mejor ajuste.....	49
Tabla 32: Costos de mantenimiento de los equipos del sistema de evaporación.....	50
Tabla 33: Costos relacionados al tratamiento químico.....	51

**Lista de tablas (Continuación)**

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 34: Costos expresados en cantidad utilizadas al mes .....	51
Tabla 35: Costos para los equipos necesarios en el sistema de ósmosis inversa.....	52
Tabla 36: Caracterización de los contaminantes del sistema de evaporación.....	53
Tabla 37: Caracterización de los contaminantes del sistema de ósmosis inversa.....	54
Tabla 36: Comparación de los sistemas de evaporación y ósmosis inversa .....	60

### I. Introducción

Actualmente la empresa Generadora Eléctrica Central, S.A. (GECSA), cuenta con tres unidades de generación eléctrica, de las cuales dos utilizan motores de combustión de Bunker y la tercera unidad utiliza el ciclo térmico de Rankine Regenerativo.

La tercera unidad, como se conoce en la empresa al sistema térmico, presenta un ciclo abierto y cerrado para la generación de electricidad, ya que utiliza agua de pozo, agua cruda, para compensar las pérdidas del ciclo, por lo que es necesario tratar esta agua para disminuir su dureza, conductividad, etc., antes de utilizarla para alimentar la caldera y producir vapor sobrecalentado para la turbina y esta a la vez generar energía eléctrica.

El agua cruda antes de ser alimentada a la caldera, es pasada primero por un filtro de arena, después por una Zeolita, posteriormente a un desaireador y por último es sometida a una evaporación; todo esto para mejorar la calidad del agua.

El inconveniente que presenta este sistema de compensación, se produce cuando el evaporador entra en funcionamiento, ya que no funciona hasta que el ciclo térmico genera una carga mayor a veinte megavatios de potencia, provocando un gasto tanto energético como de tiempo a la hora de producir agua de reposición, para el ciclo térmico.

Como el evaporador consume energía calorífica, la unidad cuenta con un tanque de condensado, que es alimentado por los excedentes del condensador; esta agua se utiliza como agua de compensación y para otras funciones. Cuando se usa el agua del tanque de condensado, se apaga el evaporador, y no es hasta cuando el tanque llega a su nivel mínimo de capacidad se pone en servicio al evaporador, surgiendo el inconveniente planteado con anterioridad.

La gerencia de la planta GECSA, consideró importante sustituir el sistema de evaporación por otro, específicamente por un sistema de ósmosis inversa, ya que según ellos, este sistema está siendo utilizado por otras plantas de generación eléctricas, con el mismo propósito, que es utilizado el sistema de evaporación, el cual es para el tratamiento de agua de compensación.

### II. Objetivos

#### 2.1 Objetivo general

Comparar técnicamente el sistema de evaporación con un sistema de ósmosis inversa, para el tratamiento del agua de compensación, en la Generadora Eléctrica Central, S.A.

#### 2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el sistema de evaporación para el tratamiento del agua de reposición del ciclo térmico.
- Proponer un sistema de ósmosis inversa para el tratamiento del agua de compensación del ciclo térmico.
- Estimar los costos de mantenimiento de ambos sistemas.
- Valorar las consecuencias ambientales de ambos sistemas.
- Comparar técnicamente los dos sistemas de tratamiento del agua de compensación del ciclo térmico.

### III. Marco teórico

#### 3.1 Generalidades

Las centrales termoeléctricas o plantas de fuerza son plantas que utilizan el calor que produce la combustión de un combustible fósil para convertir el agua en vapor de agua. El combustible se introduce en la caldera para desprender calor suficiente para calentar los tubos con agua.

Esta agua se convierte en vapor saturado y tras eliminar su humedad y aumentar su temperatura en el sobrecalentador, se introduce en la turbina generando energía cinética que el generador la transforma en energía eléctrica.

La transformación de energía en una central termoeléctrica se puede considerar que se efectúa en cuatro etapas, las cuales son:

1. Transformación de energía latente del combustible en calor.
2. Transformación del calor en energía potencial del vapor.
3. Transformación de la energía potencial del vapor en energía mecánica.
4. Transformación de la energía mecánica en energía eléctrica.

Las dos primeras transformaciones se producen en la sala de las calderas, donde la combustión del fuel-oil o carbón produce gases calientes que hacen evaporar el agua, mientras que las dos últimas transformaciones ocurren en la sala de las turbinas, donde aquí el calor se expande en la turbina haciendo accionar el generador eléctrico (Manual de GECSA).

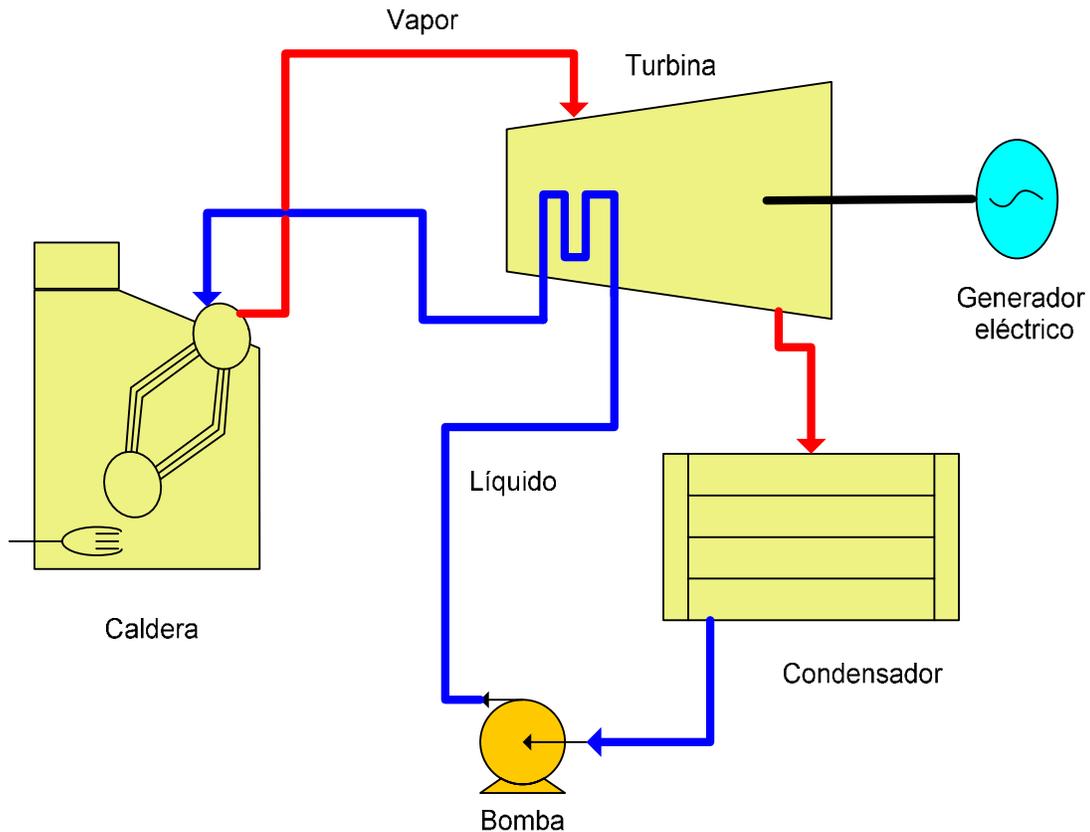
#### 3.1.1 Ciclo de Rankine con regeneración

Las plantas de energía utilizan el ciclo de Rankine con regeneración para obtener energía eléctrica. Este consiste en calentar el agua de alimentación de la caldera, con los vapores de las extracciones de la turbina. El agua procedente del condensador es calentado por vapor extraído de la turbina. Esto se realiza en diferentes etapas, con vapor tomado de la turbina, por lo general el número de extracciones no supera las cinco, aunque lo determina las consideraciones económicas (Sonntang, 1991).

El motivo de calentar el agua de alimentación se debe para aumentar la eficiencia del ciclo, y aproximarle lo más posible al ciclo regenerativo ideal, ya que el agua de alimentación entra a la caldera como líquido saturado a la presión máxima.

El ciclo regenerativo ideal, como se muestra en la figura 1, se encuentra un líquido descargado por la bomba se hace circular por el exterior de la turbina en contracorriente, obteniéndose una transferencia de calor del vapor que circula por el interior de la turbina, al líquido subenfriado que circula por el exterior de la unidad (Manrique, 1981).

**Figura 1: Ciclo Rankine ideal con regeneración**



Fuente: Manrique, 1981

Si la transferencia de calor fuera reversible, la disminución en la entropía del vapor en la turbina debe ser igual al incremento de entropía sufrido por el líquido. Por lo tanto, este ciclo ideal tiene una eficiencia térmica igual a la de un ciclo de Carnot con las mismas temperaturas de operación (Manrique, 1981).

Pero el ciclo ideal regenerativo presentado en la figura 1 no es práctico, debido a las siguientes razones:

1. No sería permitido transferir calor del vapor en la turbina, al líquido del agua de alimentación.
2. La humedad del vapor que sale en el extremo de baja presión de la turbina aumenta razonablemente debido a la transferencia de calor.

Sin embargo, este ciclo regenerativo se hace práctico mediante el uso de intercambiadores de calor que utilizan vapor extraído de la turbina, para calentar el agua de alimentación de la caldera. Estos calentadores pueden ser de tipo abierto (contacto directo) o de tipo cerrado.

Los calentadores de tipo abierto, son los que mezclan el vapor de extracción con el condensado descargado por la bomba de condensado, esto se realiza para obtener un líquido saturado a la descarga del intercambiador de calor. Mientras los intercambiadores de calor de tipo cerrado o calentadores de superficie, no se mezclan el vapor de extracción con el condensado, sin embargo el calor del vapor de extracción se transmite, a medida que se condensa fuera de los tubos, al agua de alimentación que fluye dentro de los tubos.

Los calentadores de contacto directo tienen la ventaja de ser más baratos y de tener mejores características en la transmisión de calor comparados con los calentadores de superficie; tienen la desventaja de necesitar una bomba para operar el agua de alimentación antes y después del calentador (Sonntang, 1991).

Los calentadores de tipo cerrado presentan la ventaja de operar con presiones distintas en las purgas de vapor y en la alimentación de condensado, resultando de esta manera la operación de las trampas de vapor más aliviada, otra ventaja de estos calentadores es la de mejorar el rendimiento del sistema; tienen la desventaja comparativa de ser un poco más caros que los de tipo abierto (Rodríguez, UTN-Argentina).

#### **3.2 Tratamiento del agua de alimentación para una caldera**

En la plantas de fuerza es necesario compensar el agua de alimentación de las calderas y sustituir así las fugas y pérdidas del sistema como vapor de proceso en la planta o como condensado que se desecha.

Esta compensación se efectúa con agua casi pura y los métodos para lograr obtener este tipo de agua se realiza por diferentes métodos.

Estos tratamientos se dan por que al tener agua hirviendo en una caldera o en un evaporador, y al efectuarse la evaporación, muchas de las impurezas contenidas en el agua, tienden a formar depósitos o incrustaciones en la superficie de calentamiento sumergida. Las incrustaciones son depósitos de sales, que se forman rápidamente en superficies calientes y son una resistencia más a la transferencia de calor.

Este es uno de los problemas que causa un agua no tratada previamente, para su posterior uso en generar vapor. Por lo que se hace necesario realizar distintos tratamientos para mejorar su calidad.

Existen dos tipos de tratamientos para obtener este fin, estos son:

1. Interno.
2. Externo.

#### 3.2.1 Tratamiento Interno

El tratamiento interno radica en adicionar productos químicos (orgánico, inorgánicos o ambos) que logren las reacciones adecuadas para eliminar la dureza del agua, el oxígeno disuelto y controlen o neutralicen la corrosión en todo el circuito (Folleto de CEK de Centroamérica).

Lo primero antes de utilizar un tratamiento químico, es efectuar un análisis físico-químico completo del agua que se empleara en la unidad o sistema.

Como un segundo paso, es determinar la presión real a la cual la caldera está trabajando, debido a que la cantidad de químico a utilizar está íntimamente ligado a este parámetro.

Para que el tratamiento químico sea eficiente, el análisis físico-químico del agua que se empleara en el sistema deberá de contemplar:

1. Dureza total.
2. Alcalinidad total.
3. PH.
4. Cloruro.
5. Sílice.
6. Conductividad.

**Tabla 1: Tipos de tratamientos químicos según la presión de la caldera**

<b>Presión vapor (MPa)</b> <b>Dureza del agua ppm</b>	<b>&lt; 0.86</b>	<b>0.86-2.06</b>	<b>2.06-4.13</b>
<b>&lt; 1.5</b>	Fosfonatos Fosfato	Fosfanatos Fosfatos	Fosfanatos Fosfatos
<b>&lt; 10</b>	Fosfanatos Fosfatos	Fosfanatos Fosfatos	Fosfanatos Fosfatos
<b>10-30</b>	Fosfato + Acondicionamiento de lodo	Ablandador + Fosfanato	Ablandador + Fosfanato
<b>30-100</b>	Ablandador + Fosfonato Fosfanato	Ablandador + Fosfanato	Ablandador + Fosfanato

Fuente: Folleto de CEK de Centroamérica

Un tratamiento moderno es por medio de polímeros orgánicos fosfatados. El polímero tiene una elevada habilidad para alterar la estructura cristalina de los lodos, concediéndoles propiedades de fluidez con lo que se evita la formación de depósitos en zonas críticas.

Con este tratamiento los polímeros actúan de dos formas:

1. Como agentes antinucleantes, es decir, inhibiendo el crecimiento cristalino y haciendo que las partículas del sólido precipitado no se adhiera al metal.
2. Como agentes secuestrantes, formando aniones complejos solubles con los iones de dureza, evitando que precipiten y formen lodos incrustantes en la caldera.

Algunas de las ventajas que presenta este tratamiento son:

1. La no formación de exceso de lodos lo que redundaría en poder trabajar con la unidad a mayores ciclos de concentración.
2. Bajo costo.

#### 3.2.2 Tratamiento externo

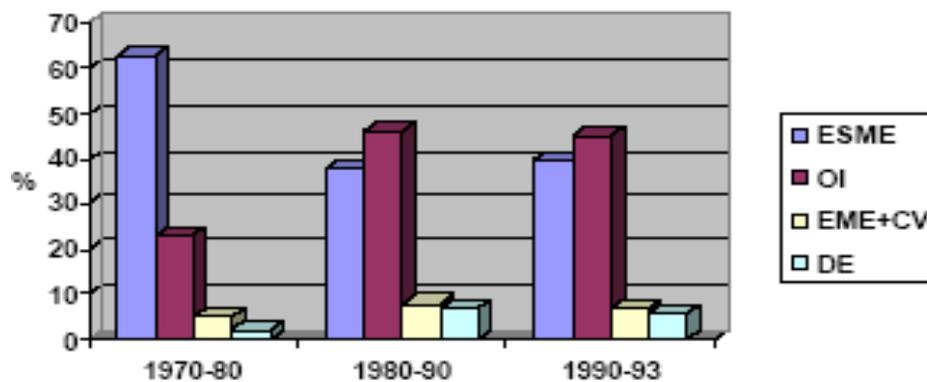
En este tratamiento se utilizan uno o varios equipos para tratar el agua dura. Existen diversos criterios para clasificar los diferentes procesos de desalación, un modo útil y claro de clasificarlos es dividirlos en dos grupos (Zarza, 1998):

1. Procesos que implican un cambio de fase en el agua.
2. Procesos que funcionan sin cambio de fase en el agua.

Entre los procesos que implican un cambio de fases se encuentran los siguientes: Destilación en Múltiple Efecto, Flashing en Múltiple Efecto, Congelación, y Compresión de vapor. Los procesos que no realizan un cambio de fase están: Ósmosis Inversa y Electrodialisis.

La implementación de estos métodos se ha ido incrementando o disminuyendo, según sea el caso, como se muestra en la figura 2:

**Figura 2: Evolución de la utilización de las técnicas de desalación**



Fuente: Zarza, 1998

Como se puede apreciar entre los años de la década de 1980, el proceso mayoritario fue el de ósmosis inversa (OI), seguido de la Evaporación súbita múltiple etapa (ESME) y los métodos: Evaporación Múltiple Efecto (EME), Compresión Vapor (CV), Electrodialisis

(ED), aun permanecido casi estático. Este hecho encuentra su justificación en el gran desarrollo que adquiere la OI a partir de 1980, con la aparición de membranas de capa ultrafina que contrasta con el mayor coste energético de los procesos de evaporación.

Como el objeto de estudio del presente trabajo, radica principalmente en el sistema que utiliza la planta Generadora Eléctrica Central, GECSA, y al interés de la misma por el sistema de ósmosis inversa, para el tratamiento de agua de la planta; solamente se detallaran los métodos de evaporación simple y el método de ósmosis inversa.

#### 3.2.2.1 Sistema de evaporación

Antes de efectuarse una evaporación, se debe realizar un tratamiento químico preliminar al agua. Las razones para ello, son las siguientes: Al separarse las partículas de vapor del líquido en la superficie del recipiente, el vapor arrastra gotas diminutas de agua, que contienen impurezas. Cuando este vapor con impurezas, una vez condensado para ser alimentado a la caldera, provoca que se formen incrustaciones en la pared de los tubos. También, se aumenta la cantidad de agua eliminada en la purga de la caldera, provocando pérdidas en calor sensible del sistema de generación de potencia (Kern, 1995).

Este ablandamiento del agua antes de introducirse al evaporador no garantiza la eliminación del arrastre provocado por la evaporación, esto es debido a un sinnúmero de factores que influyen en el arrastre. Uno de ellos es la relación de sólidos totales a sólidos suspendidos o la relación de sólidos totales a sólidos sódicos alcalinos, en especial cuando existe una gran cantidad de sólidos suspendidos o sólidos inorgánicos; otro factor es la formación de espuma en el evaporador, esto se debe a la reducción de la tensión superficial del agua provocado por el ablandamiento.

El tratamiento químico más expandido en la industria, son los ablandadores de zeolita de sodio. Las zeolitas se definen como un material sólido insoluble, el cual intercambia iones con los cuales entra en contacto. Los ablandadores se diseñan para remover toda la dureza del agua (iones positivos de calcio y magnesio) por iones de sodio, sustituyendo iones indeseables por iones menos indeseables y reteniendo los compuestos de calcio y magnesio como zeolitas de estos dos minerales.

Cuando la resina de zeolita ya no produce agua blanda o suavizada, el ablandador se debe poner fuera de servicio para regenerarlo con una solución de sal común (cloruro de sodio), por lo que se debe tener dos ablandadores para lograr este fin y continuar con el ciclo.

Después de haberse realizado el ablandamiento del agua, esta es trasladada a un evaporador, que comúnmente es de simple efecto, aunque si las características del ciclo de condensado de la planta y la cantidad de compensación son considerablemente grandes suele utilizarse un evaporador de doble efecto.

El vapor que se utiliza para evaporar el agua, por lo general proviene de una de las extracciones de la turbina, aunque esto está en dependencia del diseño del ciclo regenerativo.

El agua evaporada es pasada por un desgasificador o desaireador, donde su función es liberar los gases contenidos en el agua de alimentación, tales como: aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases. El equipo que se utiliza es un calentador de contacto directo.

Al terminar la desgasificación, el agua es pasada a la caldera para su posterior evaporación y utilización en el ciclo.

#### 3.2.2.2 Sistema de ósmosis inversa

En comparación con la destilación (evaporación), la ósmosis inversa es un proceso relativamente nuevo, ya que su aplicación en agua salobre fue a principios de los años de 1970, y para agua de mar a finales de esa década.

La ósmosis inversa utiliza la presión para forzar el agua a través de una membrana especial, dejando atrás las sales disueltas en el lado de alimentación de la membrana. En este proceso de separación no se necesita calentamiento ni cambio de fase (líquido a vapor). Estos sistemas se comercializan de tres formas: placa plana, arrollamiento en espiral y fibra hueca. Siendo las dos últimas las más utilizadas. Las presiones de operación necesaria y la pureza del producto varían con la concentración salina del agua a tratar y las membranas empleadas.

La membrana para realizar el proceso inverso de ósmosis, debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Además debe ser completamente permeable al agua y rechazar un porcentaje muy elevado de sales. Sin embargo, no se puede considerar a la ósmosis inversa como un proceso de filtración, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela a la membrana y no perpendicular como en el caso de la filtración (CIRCE, 2002).

La instalación de una planta de ósmosis inversa estará en dependencia del tamaño de la planta y de las características físicas y biológicas del agua a ser tratada, por lo que la instalación será simple o casi compleja, y de ello dependerá los equipos auxiliares de tratamiento que se necesitan.

Una planta de ósmosis inversa cuenta con 5 (cinco) sistemas más o menos independientes, estos son (CIRCE, 2002):

- Sistemas de pretratamiento: para prevenir el ensuciamiento prematuro de las membranas.
- Grupos de presurización.
- Agrupación de los módulos de membranas.
- Sistema de recuperación de energía.
- Postratamiento para cubrir los requerimientos finales, en función del uso final.

El pretratamiento es necesario para evitar el ensuciamiento prematuro de las membranas. Este sistema elimina la actividad biológica y materias coloidales orgánicas e inorgánicas presentes en el agua.

### III. Marco teórico

Entre los pretratamientos que se efectúan están (CIRCE, 2002):

- Clorado: reduce la carga orgánica y bacteriológica del agua.
- Filtración con arena: reduce la turbidez.
- Acidificación: reduce el pH y limita la formación de depósitos calizos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado: elimina el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.

El segundo sistema es el empleo de motobombas de alta presión. Existen gran variedad de bombas de impulsión, entre ellas se tienen:

- De desplazamiento positivo (helicoidales o de pistón).
- Centrífugas (de segmentos, de cámara partida, de alta velocidad, etc.).

La elección del tipo de bomba a utilizar dependerá del caudal, la presión y el rendimiento requerido para la misma. Aunque las más utilizadas son las de segmentos y de cámara partida.

Otro sistema que agrupa o es necesario en una planta de ósmosis inversa, es la agrupación de modulo.

Los módulos no son más que tubos horizontales de diámetros normalizados, donde se montan las membranas.

Existen diferentes módulos, pero los más empleados son dos, que a continuación se mencionan, con una breve explicación de los mismos (CIRCE, 2002):

- Módulos espirales: Son un conjunto de membranas planas rectangulares (dobladitas con la capa activa hacia el exterior) arrolladas en forma de espiral, en torno a un tubo central perforado que recoge el producto; el agua salada circula en canales separados en una dirección, estos elementos tienen de 30 a 120 cm. de largo y de 65 a 250 mm. de diámetro; pueden montarse varias agrupaciones de este tipo (6 o 7), en un mismo recipiente a presión (tubo de presión) que pueden conectarse en serie ó paralelo posteriormente.
- Módulos de fibra hueca: Contienen un gran número de membranas de este tipo tan finas como el pelo humano, en forma de “u” y colocadas paralelamente a un tubo central con su punta pegada con un tipo especial de resina y mantenidos en una vasija a presión. El agua salada presurizada circula por fuera de las fibras mientras el filtrado circula por el interior de las mismas hacia el final de la fibra donde se recoge el permeado de los miles de fibras.

Los módulos de fibra hueca se agrupan en paralelo. Sin embargo, los módulos de espiral se agrupan de 6 en 6 o de 7 en 7, dentro de un único tubo de presión.

### III. Marco teórico

Se llama etapa al conjunto de tubos contenedores que trabajan en paralelo. En el caso de módulos de fibra hueca, cada módulo coincide con un tubo de presión. Habitualmente, se pueden acoplar varias etapas.

El conjunto de etapas que se congregan con una única bomba de presurización se llaman sistemas. Hay dos tipos de agrupaciones de sistemas, en paralelo cuando se busca la mayor producción posible, y en serie, entonces cada sistema se llama paso.

Otro sistema que necesita una planta de ósmosis inversa, es la incorporación de un sistema de recuperación de energía, esto se realiza para aprovechar la energía mecánica proveniente del rechazo de salmuera.

Los principales sistemas de recuperación de energía son (CIRCE, 2002):

- Introducción de turbinas de contrapresión, o bombas centrífugas que pueden girar en sentido inverso aprovechando la presión de la salmuera y por lo tanto son parte del grupo de alta presión.
- Aprovechar la presión del rechazo para instalar un segundo paso de membranas que soporten muy altas presiones (> 90 bar), con la ayuda de una bomba Booster para salvar la diferencia de presiones osmóticas de este segundo paso.

El último sistema que utiliza una planta de ósmosis inversa, es el postratamiento del agua producida, aunque esto estará en dependencia del uso que se le desea dar.

En el postratamiento se deben tomar en cuenta lo siguiente:

- El equilibrio químico del agua: para eliminar su alta agresividad y así proteger las redes de distribución, por lo que se hace necesario el alto contenido de CO<sub>2</sub> con el fin de conseguir un agua ligeramente incrustante.
- El segundo aspecto se refiere al contenido de dureza del agua de abastecimiento.

Como referencia se tiene la siguiente tabla, en la cual se refleja la calidad del agua de obtenida por los procesos de evaporación y de ósmosis inversa:

**Tabla 2: Calidad media del agua obtenida por diferentes procesos de desalación**

Calidad media del agua obtenida	Proceso de desalación		
	OI (1 PASO)	OI (2 PASOS)	EVAPORACIÓN
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	2	0,1	0,5
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	6	0,3	1,5
Na <sup>+</sup> (mg/l)	128	15	12
K <sup>+</sup> (mg/l)	4	0,8	0,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	8	0,4	0,1
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	11	0,6	3,0
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	208	23	22
STD (mg/l)	367	40	40
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	0,1	0,0	0,0
CO <sub>2</sub> (mg/l)	23	12	-
pH	5,8	5,2	7,2

Fuente: La desalación y reutilización como recursos alternativos, CIRCE, 2002  
 OI: Ósmosis inversa

Como se aprecia el proceso de ósmosis inversa tiene gran aplicación para el agua de alimentación de las calderas (Perry, 1999). Las razones de su imposición con respecto a otras tecnologías son las siguientes:

- El consumo energético es el menor de todos procesos para desalación de agua de mar (< 4 kW·h/m<sup>3</sup>), teniendo en cuenta los sistemas de recuperación de energía.
- Posee una adaptabilidad mayor que otras plantas a una ampliación de su capacidad.

### 3.2.2.2.1 Ecuaciones de diseño y parámetros de un sistema de ósmosis inversa

Los parámetros de diseño de un sistema de ósmosis inversa son: presión de alimentación o flujo permeado, si la presión de la alimentación es dada; y el paso de sal.

Existen dos formas de calcular la actuación de un sistema de ósmosis inversa, estos son: Elemento por Elemento y el Sistema Entero. El método Elemento por Elemento, es el cálculo más riguroso de los dos métodos nombrados anteriormente. En éste todas las condiciones del primer elemento deben ser conocidas incluyendo la presión de la alimentación; luego el flujo, presión, etc., del concentrado, del segundo elemento, puede ser calculado.

A continuación se nombran las ecuaciones que rigen el cálculo Elemento por Elemento, donde el subíndice i en las ecuaciones mencionadas, indica que se aplican a los i-énimo

### III. Marco teórico

elementos en una secuencia de n elementos, con una configuración de flujo en serie, estas ecuaciones son:

Flujo de permeado

$$Q_i = \overline{A}_i \overline{\pi}_i S_E (TCF)(FF) \left( P_f - \frac{\Delta P_{fci}}{2} - P_{pi} - \overline{\pi} + \pi_{pi} \right) \quad \text{ec. 1}$$

Permeabilidad de membrana FILMTEC como una función del promedio de la presión osmótica lado concentrado

$$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125 ; \overline{\pi} \leq 25 \quad \text{ec.2}$$

Elemento FILMTEC de 8 pulgadas, o caída de presión lado concentrado simple etapa

$$\Delta P_{fci} = 0.01 n q_{fc}^{-1.7} \quad \text{ec. 3}$$

Promedio aritmético velocidad de flujo lado concentrado

$$\overline{q}_{fc} = \frac{1}{2} (Q_f + Q_c) \quad \text{ec. 4}$$

Promedio presión osmótica lado concentrado para el sistema

$$\overline{\pi} = \overline{\pi}_i \left( \frac{C_{fci}}{C_{fi}} \right) \overline{\rho}_{fi} \quad \text{ec. 5}$$

Promedio factor polarización

$$\overline{\rho}_{fi} = e^{0.7 \overline{Y}_i} \quad \text{ec. 6}$$

Promedio de recuperación por elemento

$$\overline{Y}_i = 1 - (1 - Y)^{1/n} \quad \text{ec. 7}$$

Limite de recuperación del sistema

$$Y_L = 1 - \frac{\pi_f \overline{\rho}_{fi} R}{P_f - \Delta P_{fc} - P_p} \quad \text{ec. 8}$$

Razón: Promedio lado concentrado en la concentración de la alimentación del sistema

$$\frac{\overline{C}_{fci}}{C_{fi}} = 1 - \overline{R} - \frac{\overline{R} L n \left( 1 - \frac{Y}{Y_L} \right)}{Y - (1 - Y_L) L n \left( 1 - \frac{Y}{Y_L} \right)} \quad \text{ec. 9}$$

Promedio de presión osmótica lado concentrado

$$\overline{\pi}_i = \pi_{fi} \left( \frac{C_{fci}}{C_{fi}} \right) \rho_{fi} \quad \text{ec. 10}$$

Promedio presión osmótica lado permeado

$$\pi_{pi} = \pi_{fi} (1 - R_i) \quad \text{ec. 11}$$

Razón: Promedio aritmético lado concentrado en la concentración de la alimentación para el Elemento i

$$\frac{C_{fci}}{C_{fi}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}} \right) \quad \text{ec. 12}$$

Razón: Concentrado en la concentración de la alimentación para el Elemento i

$$\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i (1 - R_i)}{1 - Y_i} \quad \text{ec. 13}$$

Presión osmótica del agua de alimentación

$$\pi_f = 1.12 (273 + T) \sum_j m_j \quad \text{ec. 14}$$

Factor de corrección de temperatura

$$TCF = e^{2640 \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{273+T} \right)}; T \leq 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ec. 15}$$

Factor de polarización, para Elementos FILMTEC de 8-pulgadas

$$\rho_{fi} = e^{0.7 Y_i} \quad \text{ec. 16}$$

Recuperación del sistema

$$Y = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i) \quad \text{ec. 17}$$

Concentración del permeado

$$C_{pj} = B (C_{fcj}) (\rho_{fi}) (TCF) \frac{S_E}{Q_i} \quad \text{ec. 18}$$

Al ser un método muy complejo, existen empresas que realizan este tipo de diseño asistido por computadora, como en el caso de The Dow Chemical Company, la cual creó el software Reverse Osmosis System Analysis, ROSA. En el presente trabajo también se utilizó el programa ROSA para diseñar el sistema de ósmosis inversa.

### 3.3 Comparación entre el sistema de evaporación y el sistema de ósmosis inversa

Los dos procesos mediante el cual se puede desalar el agua, o para este caso, acondicionar el agua para su incorporación al ciclo térmico, presentan ventajas y dificultades en sus operaciones; ya que estos presentan características distintas, lo cual se hace necesario realizar un análisis sobre los factores que tienen que ver con sus funcionamientos antes de tomar una decisión (Zarza, 1998).

### III. Marco teórico

Entre estos factores se destacan los siguientes: salinidad del agua a tratar, inversión, disponibilidad de mano de obra cualificada para la operación de la planta, precio de la energía térmica y eléctrica, disponibilidad de calor residual a baja temperatura, etc..

El consumo energético del sistema de evaporación es independiente de la salinidad del agua; no así, el sistema de ósmosis inversa, el cual su consumo de energía es proporcional a la salinidad del agua a tratar.

Hay que hacer notar, que el sistema de ósmosis inversa, necesita un cuidadoso pretratamiento del agua de proceso, sino se vería peligrosamente amenazada la vida útil de las membranas de Ósmosis (Zarza, 1998).

Al no poder concluir que proceso es mejor que otro, a continuación se presentan algunas características de ambos procesos:

**Tabla 3: Características de los procesos de evaporación y de ósmosis inversa**

PARÁMETRO	MSF	MED-TVC	OI (un paso)
Tipo energía	térmica	térmica	eléctrica
Temperatura de operación (° C)	<120	<70	<45
Consumo energético primario (kJ/kg)	>200	150-200	<80
Consumo eléctrico (kWh/m <sup>3</sup> )	3,5	1,5	4-7
Calidad agua de entrada (ppm)	30.000-100.000	30.000-100.000	1.000-45.000
Calidad producto (ppm)	< 50	< 50	<500
Capacidad producción (m <sup>3</sup> /día)	5.000-60.000	100-20.000	1-10.000
Coste instalaciones	alto	alto/medio	medio
Posibilidad ampliación	difícil	difícil	fácil
Fiabilidad de operación	alta	media	alta
Desalación agua de mar	sí	sí	sí
Superficie requerida de instalación	mucha	media	poca

Fuente: La desalación y reutilización como recursos alternativos, CIRCE, 2002

\* Evaporación súbita por efecto flash (MSF), destilación múltiple efecto (MED), Termocompresión de vapor (TVC) y compresión de vapor mecánica (CV), ósmosis inversa (OI) y Electrodialisis (ED).

Tal como se puede ver, la ósmosis inversa sobresale por su costo de inversión, ampliación y fiabilidad. Hay que tener en cuenta que la calidad de agua es baja en comparación de los procesos de evaporación, porque existe un solo paso, por lo que la incorporación de un segundo paso reduciría la concentración salina residual.

#### **3.3.1 Criterios para la comparación técnica entre el sistema de evaporación y de ósmosis inversa**

La comparación técnica se efectúa a partir de los siguientes criterios de factibilidad que se mencionan a continuación (Morales, 2002); cabe señalar que estos criterios, son tomados en cuenta para satisfacer las necesidades del ciclo térmico, específicamente la calidad del agua de alimentación de la caldera:

##### **Criterios técnicos:**

1. Re-arranque.
2. Mantenimiento.
3. Ampliaciones o modificaciones futuras.
4. Calidad del agua obtenida.
5. Consumo energético.

##### **Criterios basados en costos:**

1. Costos de operación.
2. Costos de adquisición del sistema propuesto.
3. Costos de mantenimiento.

##### **Criterios ambientales:**

1. Re-uso de efluentes tratados.
2. Composición físico-química de la purga.

Estos criterios se clasifican según su tópico, para facilitar su análisis de una forma más detallada a la hora de realizar la comparación entre los dos procesos de tratamiento de agua.

A cada criterio se le asigna un valor, el cual refleja el nivel de confiabilidad del criterio. Estos valores son:

- 0: No confiable o factible.
- 1: Poco factible.
- 2: Factible.
- 3: Muy factible.

La asignación de estos valores está regida al número de posibilidades de los diversos resultados obtenidos en cada estudio y a su valoración del mismo. Hay que enfatizar que esta asignación está sujeta al análisis que realice el investigador.

La sumatoria total de los criterios, se encuentra entre 0 y 30, por lo que se obtienen los siguientes rangos y su valoración de aceptación:

Menos de 5: No aceptable.

Entre 6 y 11: Poco viable.

Entre 12 y 19: Viable.

Más de 20: Muy factible.

#### 3.4 Plantas duales

Se conoce a la incorporación de una plantas desaladoras con centrales eléctricas. Este concepto se aplica para todos los procesos de desalación (Zarza, 1998).

Los procesos de destilación o evaporación necesitan una fuente que les suministre energía térmica, y todas las centrales térmicas son una fuente de calor, por lo que el uso de plantas duales con evaporación resulta provechoso. Como principal inconveniente de las plantas duales con evaporación, esta la dependencia que presentan los dos procesos.

Tomando en cuenta la dependencia, la ósmosis inversa presenta una clara ventaja al ajustarse con una central eléctrica, ya que pueden ser bastante independientes a las ofertas y demandas externas de agua y electricidad, ya que la energía eléctrica que utiliza la planta de ósmosis inversa puede ser provista por una fuente externa. Esta ventaja compensa los inconvenientes derivados de un mayor consumo energético cuando se compara con los procesos de evaporación, y el problema de la inseguridad que presenta el dispositivo clave de la planta desaladora: las membranas de ósmosis (Zarza, 1998).

#### 3.5 Comparación de costos para reemplazo de equipos o sistemas actuales

Cuando hay que seleccionar la mejor alternativa, desde el punto de vista económico, pero no existen ingresos en el análisis, y más bien solamente existen costos dentro del análisis, como en el caso de sustituir un equipo que es solo parte de un proceso productivo y no produce ingresos por sí mismo; el análisis económico más recomendable es una comparación de costos por el método de Costo Anual Uniforme Equivalente, CAEU, (Baca, 1998).

$$CAEU = VPC(A/P, i, n) - VS(A/F, i, n) + CAO \quad \text{ec. 19}$$

Donde:

VPC: Valor presente de los costos

i: Tasa mínima aceptable de rendimiento

CAEU: Costo anual uniforme equivalente

CAO: Costos anuales de operación

VS: Valor de salvamento

n: Número de años

#### 3.6 Evaluación de impacto ambiental

Es un procedimiento que tiene por objetivo identificar, predecir e interpretar, los impactos ambientales que se producirían debido a la ejecución de un proyecto o actividad (Zaror, 2000).

La metodología utilizada en la evaluación de impacto ambiental en el diseño de procesos implica:

- Identificar los aspectos ambientales del proyecto.
- Identificar los factores ambientales potencialmente afectados.
- Predecir y evaluar los impactos generados.
- Identificar las medidas necesarias para eliminar o minimizar los impactos no deseados

En el presente trabajo, solamente se identificarán, de manera cualitativa, las contaminaciones ambientales, clasificadas como: gaseosas, líquidas y sólidas; y valorar si estas contaminaciones cumplen con las leyes ambientales existentes en el país. Hay que destacar, que al valorar comparativamente diferentes opciones de procesos, se facilita el uso de criterios relativos para seleccionar aquellas que presenten pocos daños ambientales.

#### 3.7 Análisis estadístico

Para tener una mayor coherencia y lógica en el análisis de los diversos datos recopilados se utiliza el siguiente análisis estadístico (Curso de graduación sobre Formulación y evaluación de proyectos, 2006).

##### 3.7.1 Cálculo de las medias aritméticas

###### Media aritmética ( $\bar{x}$ )

La media, media aritmética o promedio es la medida de posición más utilizada y de más fácil cálculo que se emplea para describir una serie de datos. Es una buena medida de posición si la distribución de frecuencias es simétrica, pero pierde esta ventaja si no lo es, en virtud de que está afectada por los valores extremos. Se define como la suma de los valores de los datos dividida entre el total de observaciones, es decir:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{ec. 20}$$

Donde:

$\bar{x}$ : Dato i-ésimo  
n: Total de datos

Al conocer la media aritmética, se procede a conocer la magnitud de dispersión o variabilidad de los datos, es decir, si los datos están estrechamente agrupados, los valores de las medidas de dispersión serán pequeños; sino los datos están más extendidos.

###### Varianza ( $s^2$ )

Es el promedio de las dispersiones cuadráticas de los valores con respecto a la media aritmética, su fórmula es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{ec. 21}$$

**Desviación estándar o típica (s)**

Es la raíz cuadrada de la varianza. La desviación estándar nos da una noción de que tan compacto están los elementos de la serie alrededor de su media aritmética.

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{ec. 22}$$

**3.7.2 Método de regresión lineal**

**Método de Mínimos Cuadrados**

Se utiliza para calcular la ecuación de una curva para una serie de puntos dispersos sobre una gráfica, curva que se considera el mejor ajuste, o sea, cuando la suma algebraica de las desviaciones de los valores individuales respecto a la media es cero y cuando la suma del cuadrado de las desviaciones de los puntos individuales respecto a la media es mínima.

La distribución de los datos se asemejan a una recta, entonces su ecuación está definida por:

$$y = a + bx \quad \text{ec. 23}$$

Donde:

- y: Variable dependiente
- a: Desviación al origen de la recta
- b: Pendiente de la recta
- x: Variable independiente

Los valores de a y b se encuentran utilizando el criterio de mínimos cuadrados:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x^2 \sum_{i=1}^n y - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n xy}{n \sum_{i=1}^n x^2 - \left( \sum_{i=1}^n x \right)^2} \quad \text{ec. 24}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x \sum_{i=1}^n y}{n \sum_{i=1}^n x^2 - \left( \sum_{i=1}^n x \right)^2} \quad \text{ec.25}$$

### IV. Metodología

Para la obtención de los resultados, se estudió por separado el sistema de evaporación que presenta actualmente la planta, del sistema de ósmosis inversa que se desea proponer.

En el primer estudio se examinó el funcionamiento real del sistema de evaporación, a través de las hojas de lecturas de los parámetros que registra la empresa; pero para el caso del sistema de ósmosis inversa, se analizó desde un nivel teórico, apoyado por diversas informaciones técnicas que brindan las empresas que diseñan estos equipos, ya que estos diseños son patentados, por lo que se carece de información muy detallada respecto al diseño de plantas de ósmosis inversa. También para el diseño del sistema de ósmosis inversa se utilizó un programa computacional, dada la expansión de estos tipos de programas, enfocados principalmente para disminuir el tiempo asignado a este tipo de cálculos y además en tener una amplia gama de opciones de diseño, debido al sinnúmero de operaciones que realizan en un corto tiempo.

#### 4.1 Recopilación de datos

Tomando en consideración que las condiciones de operación del sistema en estudio son constantes, en cualquier época del año, los parámetros de medición no sufren alteración alguna; por lo que se analizaron los parámetros del sistema de evaporación reflejados en las hojas de lectura del mes de agosto del 2005, que la empresa registra.

Esta recopilación de parámetros, se efectuó solamente para los equipos de mayor importancia dentro del proceso de agua de compensación del ciclo térmico, los cuales son el desaireador del evaporador y el evaporador.

Los parámetros de operación que están relacionados al evaporador, son:

1. Presión del vapor secundario (vapor obtenido por la evaporación).
2. Presión del vapor primario (vapor de calentamiento), procedente de la segunda extracción de la turbina.

Los parámetros de operación que están relacionados al desaireador del evaporador, son:

1. Presión del desaireador.
2. Temperatura de entrada del agua blanda, la cual se asume a 27<sup>0</sup> centígrados, ya que la tubería que conecta a la zeolita con el desaireador está aislada.

Los parámetros de operación que están relacionados con la turbina, son:

1. Presión de entrada del vapor sobrecalentado.
2. Temperatura de entrada del vapor sobrecalentado.

Para los equipos de filtros de arena y zeolitas; no se tomaron datos de operación, por no tener afectación alguna con los balances de entrada y salida de las corrientes en los mismos, ya que su función es eliminar solamente partículas sólidas y/o iónicas.

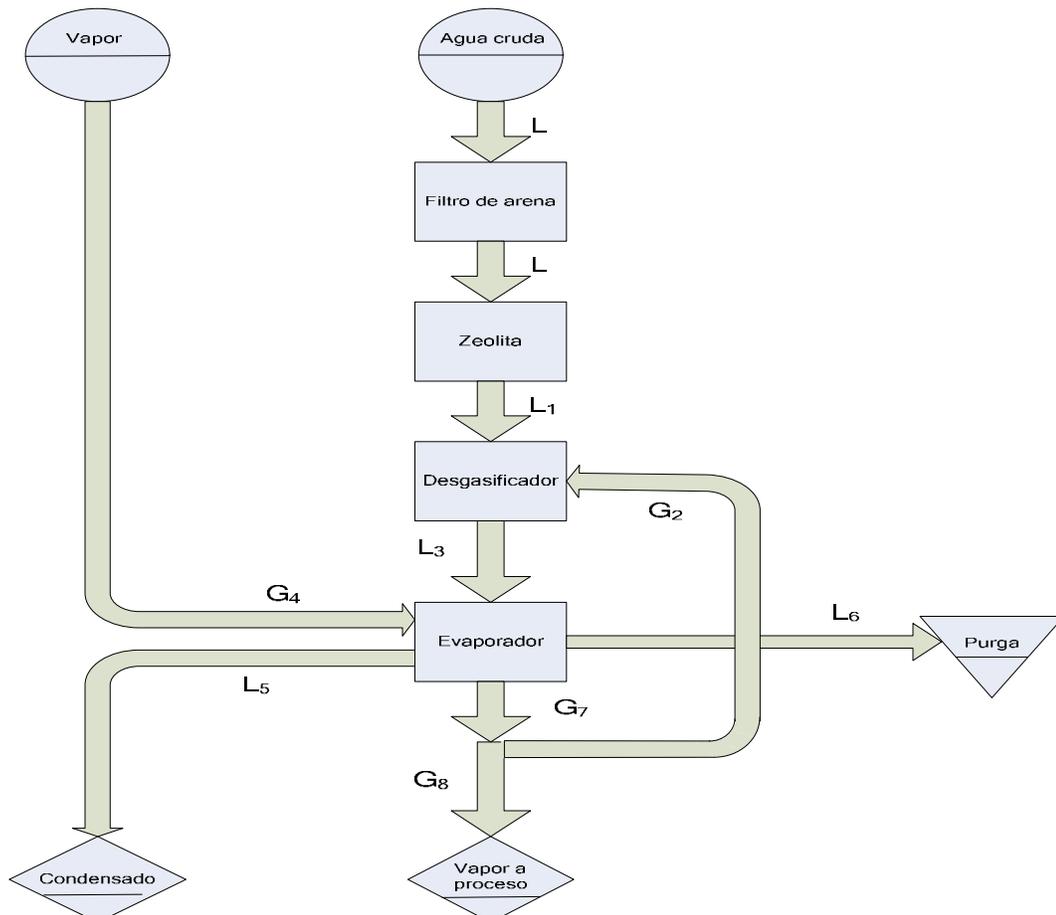
### 4.2 Balance de materia y energía del sistema desaireador-evaporador

Con los datos registrados en las hojas de lecturas del mes de agosto del 2005, se realizó un balance de materia y energía del sistema desaireador-evaporador, donde se consideró lo siguiente:

1. El flujo de la purga gaseosa del desaireador, P, es despreciable con respecto a las demás corrientes (diámetro de la purga igual a 0.025 metros (½ pulgada) y el diámetro de otras corrientes igual a 0.152 metros (6 pulgadas)). La medición de los parámetros de este flujo, no se realizaron, debido a estudios previos en la empresa (Datos de la corrida de la unidad III GECSA, 1972).
2. La condición termodinámica de la Corriente  $L_3$ , flujo de entrada de agua blanda al evaporador, se considera idéntica al desaireador, o sea, la presión de saturación de la corriente  $L_3$  es igual a la presión del desaireador (Sonntang, 1991).
3. Las pérdidas debidas a la radiación, se consideran despreciables, por contar el evaporador con una capa de aislante de fibra de vidrio de 6 pulgadas, y a la falta de cuerpos calientes a menos de 2 metros del evaporador.

Con esto se plantearon las siguientes ecuaciones, en base al siguiente diagrama:

**Figura 3: Diagrama de bloque del sistema de evaporación**



## IV. Metodología

Conociendo algunos datos de las corrientes del sistema (L, G) y encontrando sus respectivas entalpías (H), se procedió de la siguiente manera:

### DESAIREADOR:

Balance de masa en el desaireador:

$$L_1 + G_2 = L_3 \quad \text{ec. 26}$$

Balance de cloruro:

$$L_1 X_{Cl}^{L_1} = L_3 X_{Cl}^{L_3} \quad \text{ec. 27}$$

Balance energía:

$$L_1 H_{L_1} + G_2 H_{G_2} = L_3 H_{L_3} \quad \text{ec. 28}$$

### EVAPORADOR:

Balance de masa en el evaporador:

Balance de masa en la coraza del evaporador:

$$L_3 = L_6 + G_7 \quad \text{ec. 29}$$

Balance de cloruro:

$$L_3 X_{Cl}^{L_3} = L_6 X_{Cl}^{L_6} \quad \text{ec. 30}$$

Balance de calor en el evaporador:

$$G_4 (H_{G_4} - H_{L_5}) = G_7 H_{G_7} + L_6 H_{L_6} - L_3 H_{L_3} \quad \text{ec. 31}$$

### DESAIREADOR – EVAPORADOR:

Balance de masa en desaireador – evaporador:

Balance de masa:

$$L_1 = G_8 + L_6 \quad \text{ec. 32}$$

Balance de cloruro:

$$L_1 X_{Cl}^{L_1} = L_6 X_{Cl}^{L_6} \quad \text{ec. 33}$$

Balance de calor:

$$G_4 (H_{G_4} - H_{L_5}) = G_8 H_{G_8} + L_6 H_{L_6} - L_1 H_{L_1} \quad \text{ec. 34}$$

Balance de masa en división corrientes 6, 2 y 5:

$$G_7 = G_2 + G_8 \quad \text{ec. 35}$$

Resolviendo las ecuaciones (26), (27), (28), (32), (33), (34) y (35), se tiene:

$$L_6 = \frac{L_1 X_{Cl}^{L_1}}{X_{Cl}^{L_6}} \quad \text{ec. 36}$$

$$G_2 = \frac{L_1 (H_{L_3} - H_{L_1})}{H_{G_2} - H_{L_3}} \quad \text{ec. 37}$$

$$L_3 = L_1 + G_2 \quad \text{ec. 38}$$

$$G_8 = L_1 - L_6 \quad \text{ec. 39}$$

$$G_7 = G_2 + G_8 \quad \text{ec. 40}$$

$$G_4 = \frac{G_8 H_{G_8} + L_6 H_{L_6} - L_1 H_{L_1}}{H_{G_4} - H_{L_5}} \quad \text{ec. 41}$$

$$X_{Cl}^{L_3} = \frac{L_6 X_{Cl}^{L_5}}{L_3} \quad \text{ec. 42}$$

Cálculo del calor necesario para realizar la evaporación:

$$Q_{cedido} = G_4 (H_{G_4} - H_{L_5}) \quad \text{ec. 43}$$

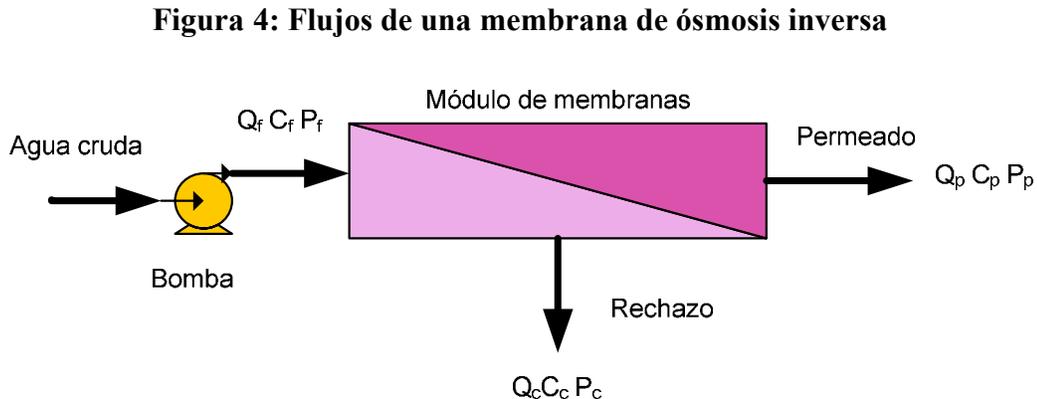
### 4.3 Sistema de ósmosis inversa

El diseño de la planta de ósmosis inversa, se efectuó a partir del flujo máximo de agua de compensación que el ciclo térmico necesita a su carga máxima, operando las 24 horas del día.

El diseño estará regido por los siguientes parámetros: concentración de sales en el agua cruda, PH del agua cruda, temperatura del agua cruda, recuperación del sistema y la presión del flujo de agua cruda.

#### 4.3.1 Planta de ósmosis inversa

La siguiente figura representa los diferentes flujos de agua que están presente en un módulo de membrana de ósmosis inversa:



Donde:

Q: Caudal	C: Concentración	P: Presión
f: Agua cruda	c: Agua de rechazo	p: Agua permeada (permeado)

A partir de la figura 4, se siguen los siguientes pasos para diseñar un sistema de ósmosis inversa (The Dow Chemical Company, 2005):

- 1) Tipo de agua que se utilizara en el proceso, concentración de la alimentación, flujo de la alimentación y del producto, y calidad requerida del producto .
- 2) Elegir la configuración del flujo y el número de pasos.
- 3) Escoger el tipo de membrana y el tipo de elemento.
- 4) Seleccionar el promedio de flujo por membrana (flujo de diseño).
- 5) Calcular el número de elementos necesarios.
- 6) Calcular el número de contenedores de presión necesarios.
- 7) Seleccionar el número de etapas.
- 8) Escoger la proporción de la presentación (proporción del arreglo).
- 9) Balancear la velocidad del flujo del permeado, utilizando el programa Reverse Osmosis System Analysis.

### 4.4 Metodología para la evaluación técnica

Realizados los balances tanto de materia como de energía del sistema, se estudió técnicamente la sustitución del sistema de evaporación por el sistema de ósmosis inversa, para ello se analizaron los siguientes factores:

1. Flexibilidad del proceso para futuras modificaciones.
2. Requerimientos de energía.
3. Eficiencia del sistema.
4. Servicios auxiliares requeridos.
5. Mantenimiento.
6. Controles involucrado en el proceso.
7. Riesgos de salud y seguridad involucrados.

### 4.5 Comparación de principales costos de operación y de mantenimiento

Está comparación se realizó en base a las siguientes consideraciones:

1. Costo energético del sistema actual.
2. Costo de mantenimiento del sistema actual.
3. El tiempo de paralización del proceso para la sustitución.
4. El costo de adquisición de los equipos requeridos para el sistema sugerido.
5. Costos de instalación del sistema propuesto.
6. Los costos de mantenimiento del sistema planteado.
7. Costo energético del sistema propuesto.
8. Costo de operación del sistema planteado.

**4.6 Valoración ambiental de los procesos**

Existen diversos métodos para estimar el impacto ambiental generado por un proceso, para ello se eligió un método que permita agregar y sistematizar la selección de alternativas, efectuar valoraciones cualitativas, permitiendo cumplir los objetivos de identificar, predecir, manejar, evaluar, informar (Diplomado en formulación, evaluación y administración de proyectos, 2001).

La valoración solo abarcó las posibles alteraciones ambientales que genera el sistema de evaporación y compararlas con el sistema de ósmosis inversa; no incluyendo una propuesta de un sistema de tratamiento para las contaminaciones que se pudieran encontrar, ya que no forma parte de los objetivos del presente trabajo; pero si fueron comparadas con los parámetros establecidos por la ley ambiental existente en el país (Decreto No. 33-95, 1995).

**4.7 Metodología para la comparación técnica**

Con los criterios y sus valoraciones, nombrados en la página 16 del Acápite del marco teórico, se creó la tabla 4, la cual se utilizó para comparar ambos sistemas:

**Tabla 4: Comparación de los sistemas de tratamiento de agua**

Análisis	Sistema de evaporación				Sistema de ósmosis inversa			
Valoración	NF	PF	F	MF	NF	PF	F	MF
<b>Criterios de factibilidad</b>								
<b>Criterios técnicos:</b>								
Re-arranque								
Mantenimiento								
Ampliaciones o modificaciones futuras								
Calidad del agua obtenida								
Consumo energético								
<b>Sub-total</b>								
<b>Criterios basados en costos:</b>								
Costos de operación								
Costos de adquisición del sistema propuesto								
Costos de mantenimiento								
<b>Sub-total</b>								
<b>Criterios ambientales:</b>								
Re-uso de efluentes tratados								
Composición físico-química de la purga								
<b>Sub-total</b>								
<b>Total</b>								

\* NF: No confiable. PF: Poco confiable. F: Factible. MF: Muy factible.

### V. RESULTADOS

El análisis de los parámetros tomados por las hojas de lecturas, se realizó a través de un balance de materia y energía del sistema, y con la ayuda de un análisis estadístico, se determinaron los caudales necesarios que debe tener el agua de compensación para reponer las pérdidas del ciclo térmico, tanto para una carga mínima como máxima del ciclo térmico.

En el caso del análisis del sistema de ósmosis inversa que propone, se realizó a través de un software facilitado en la página Web de la empresa The Dow Chemical Company. Debido a que el diseño detallado de las plantas de ósmosis inversa es patentado, solamente se limitó el análisis de las características que debe presentar el agua cruda antes de utilizar un sistema de membrana de ósmosis inversa y al funcionamiento de la planta de ósmosis inversa.

La presentación de los resultados de los dos sistemas, se distribuirán en tres acápites, los cuales son: Evaluación técnica, Comparación de costos y Resultados ambientales.

#### 5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

##### 5.1.1 Sistema de evaporación

Se analizó primeramente el funcionamiento del sistema térmico, para luego estudiar a fondo el sistema de evaporación; finalizado esto se propuso una metodología para estudiar el sistema de evaporación, que a continuación se detalla:

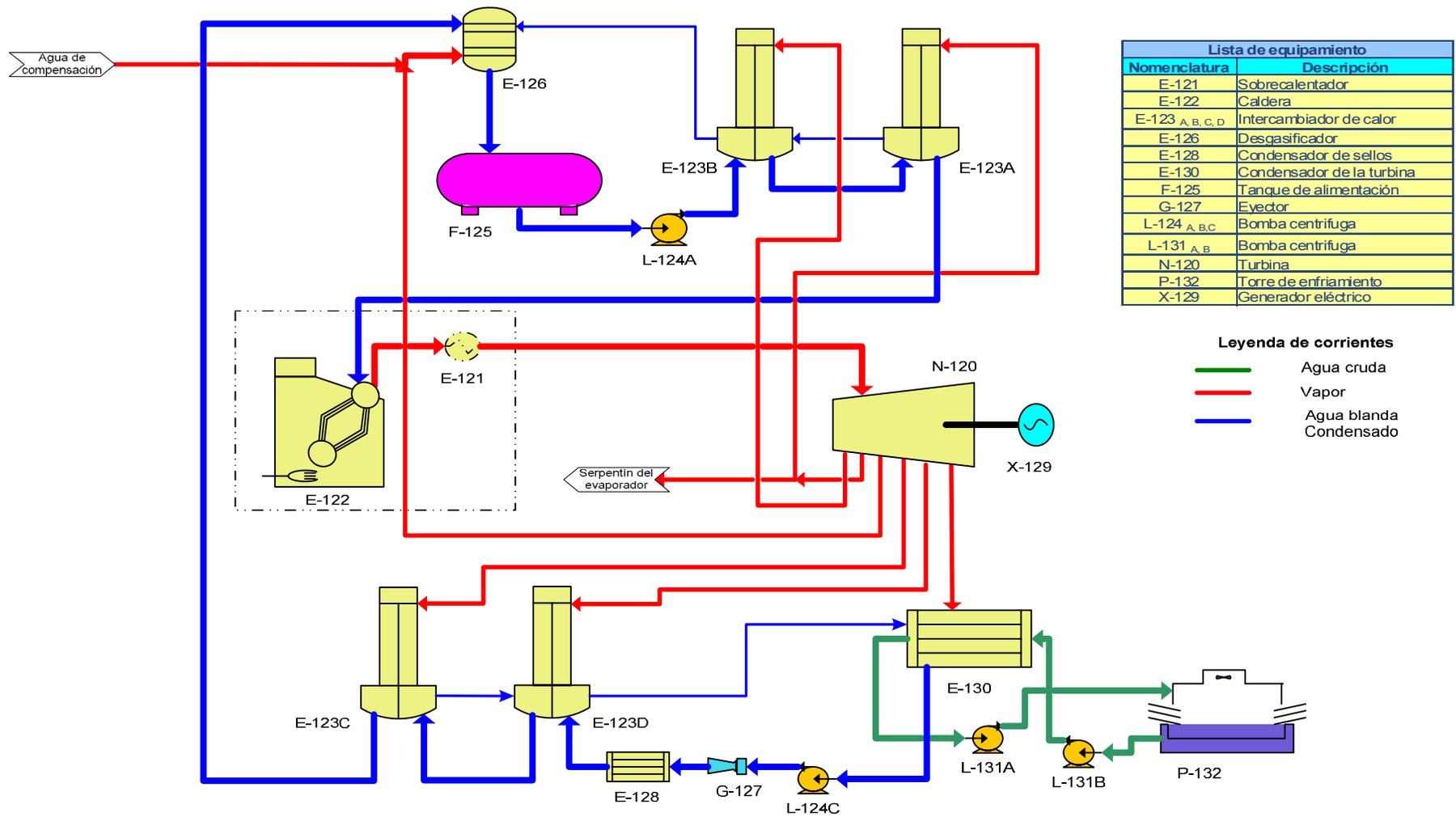
###### 5.1.1.1 Descripción breve del sistema térmico

La unidad termoeléctrica, o unidad tres, como se conoce en la empresa, cuenta con un ciclo térmico para generar energía eléctrica. Ese ciclo térmico, es el ciclo de Rankine Regenerativo, con cinco etapas de regeneración, como se puede apreciar en la Figura 5.

El ciclo inicia con la impulsión del agua que se encuentra en el tanque de alimentación de la caldera, hacia los intercambiadores de calor de tipo cerrado cinco y cuatro, de alta presión, al pasar el agua por estos calentadores, está llega a la caldera como líquido saturado a la presión máxima; en la caldera, de tipo acuotubular, el agua es evaporada como vapor saturado; luego el vapor saturado pasa por unos sobrecalentadores, eliminando las partículas de agua presentes en el vapor. Al salir el vapor de los sobrecalentadores como vapor sobrecalentado entra en la turbina, en donde el vapor se expande realizando un trabajo, provocando que la turbina mueva un generador eléctrico. El vapor sale de la turbina a baja presión y entra al condensador, donde es condensado por medio de agua fría proveniente de la torre de enfriamiento; luego el vapor condensado es bombeado hacia un eyector, el cual elimina los gases no condensables del condensador; después el vapor condensado es pasado por un condensador de sellos, donde la función de este condensador es recuperar el vapor utilizado en los sellos de la turbina; seguido a esto, el vapor condensado pasa por los intercambiadores de calor de tipo cerrado uno y dos, para luego pasar al desaireador del tanque de alimentación de la caldera; y por último el vapor condensado cae al tanque de alimentación de la caldera, iniciando nuevamente el ciclo.

## V. RESULTADOS

Figura 5: Sistema de generación de energía eléctrica GECSA



## V. RESULTADOS

Para el calentamiento del agua de alimentación de la caldera, la turbina cuenta con cinco extracciones o purgas de vapor, las cuales dos (extracción cinco y cuatro) sirven para calentar, a su temperatura de saturación, el agua de alimentación de la caldera, otras dos (extracción uno y dos) calientan el vapor condensado proveniente del condensador, y la última (extracción tres) se lleva al desaireador del tanque de alimentación de la caldera, para eliminar el oxígeno presente en el agua de alimentación. La enumeración de los intercambiadores de calor es opuesta a las extracciones de la turbina.

Una fracción de la segunda extracción se utiliza para la evaporación del agua blanda que entra en la coraza del evaporador, así como para la atomización del bunker, que sirve como combustible para la caldera.

A lo que respecta de los condensados de los intercambiadores de calor: El condensado del intercambiador cinco es agregado al condensado del intercambiador cuatro y este se agrega al condensador de la turbina. El condensado del intercambiador dos se agrega al intercambiador uno y este se lleva al desaireador del tanque de alimentación.

### 5.1.1.2 Descripción del sistema de evaporación para el agua de compensación

Para compensar las pérdidas del ciclo térmico con que cuenta la empresa, esta cuenta con un sistema de evaporación, el cual procesa el agua cruda para obtener agua de suficiente calidad para que sirva de compensación al ciclo térmico; como se puede apreciar en la Figura 6: Sistema de evaporación para el agua de compensación.

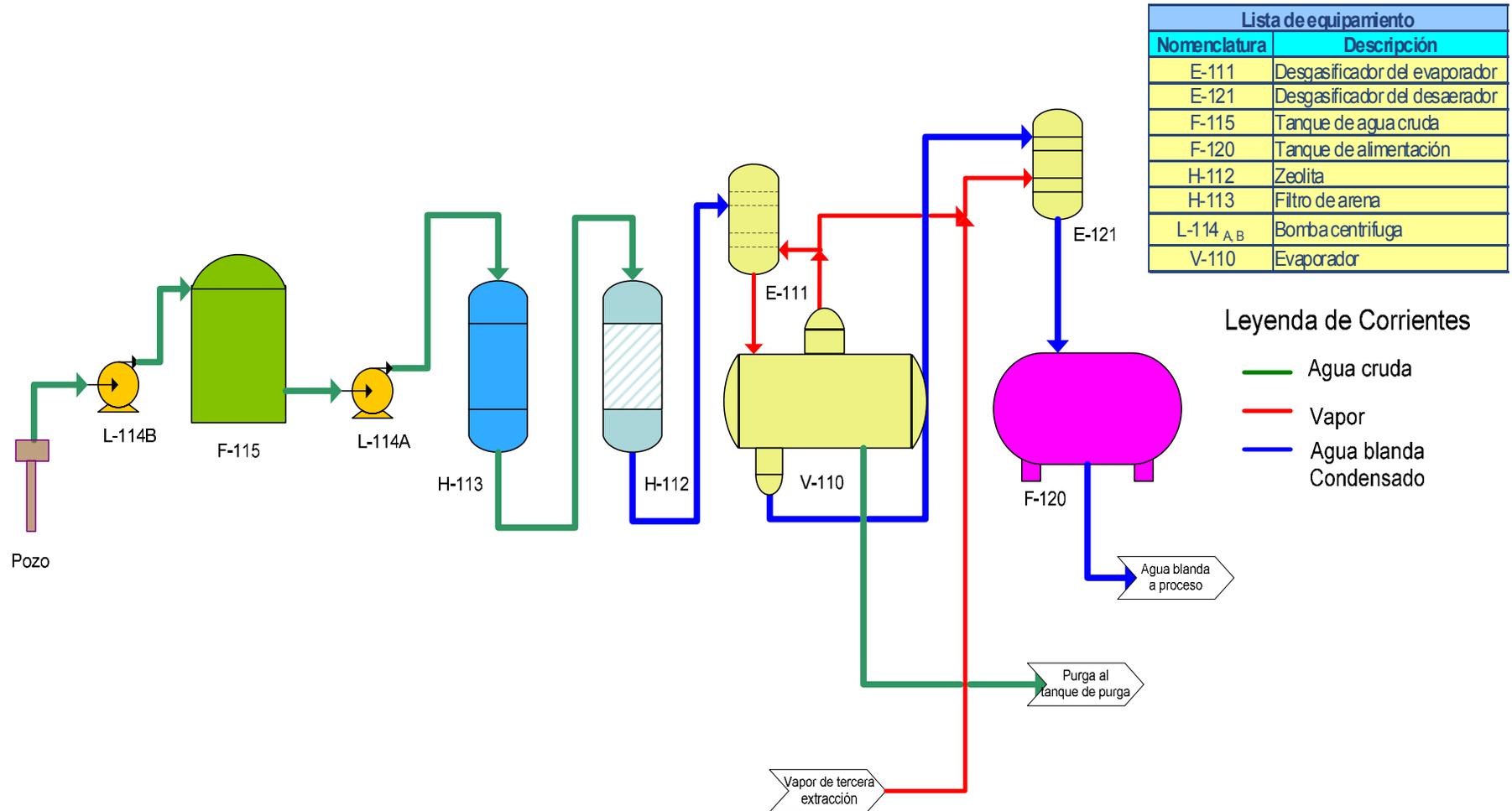
La empresa cuenta con dos pozos de agua cruda, los cuales alimentan el tanque de almacenamiento de agua cruda, también está conectado a una tubería de agua potable, para el caso de emergencia. Este tanque se le agrega agua cruda cuando su nivel predeterminado, se encuentra mínimo.

El agua cruda del tanque de almacenamiento de agua cruda, se bombea a un filtro de arena, para eliminar toda partícula sólida y suspendida presentes en el agua cruda; luego el agua cruda pasa por una zeolita, con el objetivo de eliminar la dureza del agua cruda por iones de sodio. El agua producida por la zeolita es agua suavizada o blanda, la cual se traslada, por diferencia de presión, al desaireador del evaporador, donde se elimina el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua blanda; ya el agua blanda libre de oxígeno, se traslada a la coraza del evaporador, donde se evapora por el calentamiento de los tubos del serpentín, el cual es alimentado por una fracción de la segunda extracción de la turbina.

El vapor producido por la evaporación, se divide en dos partes iguales, una se dirige al desaireador del evaporador y la segunda división al desaireador del tanque de alimentación, la cual le sirve al ciclo térmico como agua de compensación.

## V. RESULTADOS

Figura 6: Sistema de evaporación para el agua de compensación



### 5.1.1.3 Equipos utilizados por el sistema de evaporación

Para el bombeo del agua cruda, se tiene dos bombas centrifugas, las cuales se alternan, para el mantenimiento de una de ellas, cuando así lo requiera.

El sistema de agua de compensación, cuenta con dos filtros de arena, pero desde 1994, se ha estado utilizando uno de ellos, debido a la falta de problemas técnicos y de operación del filtro que se encuentra en funcionamiento.

El sistema también posee dos unidades de zeolitas, las cuales se alternan, cuando la zeolita en funcionamiento no produce la suficiente calidad de agua blanda, y se hace necesario regenerarla con salmuera, se pone en servicio la otra zeolita. La puesta en servicio de las unidades de zeolitas se realiza de forma automatizada, por medio del panel de control que administra el funcionamiento de las mismas.

El desaireador es un intercambiador de calor de contacto directo, o sea, se mezcla el vapor saturado procedente de una de las desviaciones que tiene el vapor secundario, vapor producido por la evaporación; con el agua blanda que viene de la zeolita. Este intercambiador de calor su función es de eliminar todo el oxígeno que esta disuelto en el agua blanda y a la vez calentar el agua blanda para su fácil evaporación.

El evaporador es de simple paso, un solo paso, se llena aproximadamente el setenta y cinco por ciento de su capacidad, el restante porcentaje se deja libre para facilitar la separación del vapor de las gotas de agua, igualmente el domo del evaporador cuenta con un separador que regresa el líquido separado a la coraza.

### 5.1.1.4 Periodo de operación del evaporador

El funcionamiento del evaporador y por lo tanto del sistema de agua de aportación, depende del nivel del tanque de condensado, como se conoce en la empresa al tanque de almacenamiento del exceso de agua del condensador de la turbina; ya que cuando el nivel del agua dentro del tanque se encuentra a una altura de 8 metros ( $605.664 \text{ m}^3$ ) se pone en servicio al evaporador; y cuando el nivel del tanque tiene una altura de 9.2 metros ( $696.5136 \text{ m}^3$ ), se saca de servicio al evaporador.

El funcionamiento del tanque de condensado, lo regula una válvula neumática, la cual está conectada al condensador de la turbina. Esta válvula neumática, verifica el nivel del condensador, o cisterna, como se conoce en la empresa; cuando el vapor condensado sobrepasa el nivel de operación del condensador, la válvula se abre succionando el agua excedente hacia el tanque de condensado, esto se realiza por diferencia de presión. Cuando el nivel del condensador se encuentra por debajo de su nivel de operación, la válvula se abre, agregando al condensador agua proveniente del tanque de condensado, también por diferencia de presión.

Cuando el evaporador esta fuera de servicio, el agua de compensación se añade al sistema a través del condensador, mediante el tanque de condensado, como se explico con anterioridad.

## V. RESULTADOS

El tanque de condensado siempre se encuentra en operación junto al sistema térmico, este o no en servicio el evaporador, ya que también compensa las pérdidas de agua del ciclo térmico, y que el evaporador no puede reponer.

### 5.1.1.5 Balance de materia en el Sistema de evaporación (Desaireador-Evaporador)

El resultado de aplicar las ecuaciones de balance de materia, brindan información sobre los flujos del:

1. Agua blanda que entra al desaireador.
2. Flujo de vapor que entra al desaireador.
3. Flujo de agua blanda que entra en la coraza del evaporador.
4. Flujo de vapor de calentamiento proveniente de la segunda extracción de la turbina.
5. Flujo de agua eliminada (purga) del evaporador.
6. Flujo de vapor producido por la evaporación.
7. Flujo de vapor que entra al proceso como compensación.

Como se desea plantear una sustitución del sistema de evaporación, solamente es necesario conocer o tomar en cuenta el flujo de vapor que se agrega al ciclo térmico, ya que esta es el agua necesaria que requiere el ciclo para compensar sus pérdidas (el análisis completo de dicho balance aparece en el anexo D del sistema de evaporación: Balance de materia y energía para el agua de compensación, GECSA):

El resumen del balance de materia, relacionado con el vapor a proceso, se presenta a continuación:

**Tabla 5.: Vapor a proceso utilizado por el ciclo térmico**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)				
		09/08/2005	18/08/2005	19/08/2005	24/08/2005	31/08/2005
20	5	3,489.5314	4,407.8291	4,407.8291	3,694.7980	3,788.6341
20	6	3,489.5314	4,407.8291	3,673.1910	4,433.7576	3,489.5314
38	15	5,677.0864	5,079.2068	4,397.6180	5,195.5245	5,304.0877
38	16	3,548.1790	5,079.2068	5,130.5543	5,195.5245	5,304.0877

Los demás flujos aparecen en el anexo D del sistema de evaporación: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA.

Se puede apreciar el consumo normal del ciclo térmico en un cierto periodo de operación, es decir el flujo de vapor a proceso es igual en algunas horas de operación.

**5.1.1.5.1 Consumo de agua de aportación por el ciclo térmico**

Tomando los datos del flujo de vapor a proceso para cada carga y hora de medición, se realizó un análisis estadístico para determinar la media de cada una de esos flujos, produciendo dicho análisis el siguiente resultado:

**Tabla 6: Resultados del análisis de las medias del vapor a proceso**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)
20	5	3,957.72
20	6	3,898.77
38	15	5,130.70
38	16	5,177.34

Ver resultado estadístico en el anexo E: Análisis estadístico de los datos de operación

Con la tabla 6, se calculan las medias aritméticas de cada una de las horas con cargas iguales, para conocer el consumo promedio de agua de compensación por el ciclo térmico en cada carga, con esto se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 7: Medias del vapor a proceso para cada carga**

Carga (MW)	Vapor a proceso (Kg/h)
20.00	3,928.25
38.00	5,154.02

Teniendo las medias del flujo del vapor a proceso, se procedió a encontrar una ecuación que prediga el consumo del vapor que utiliza el proceso térmico como compensación, a su carga máxima, o sea, a 45 megavatios. Dicha ecuación se obtuvo a través de regresión simple, la cual es ecuación:

$$\text{Vapor a proceso (Kg/h)} = 2566.27 + 68.0986 * \text{Carga (MW)} \quad \text{ec. 44}$$

Conociendo la ecuación que relaciona el consumo de vapor con la carga eléctrica generada por el sistema, se proyecta el consumo máximo del ciclo térmico, obteniéndose un vapor a proceso de 5,630.71 kilogramos por hora para una carga de 45 megavatios.

Con la tabla 7 y con el valor del vapor que utiliza el proceso a 45 megavatios, se encontró el consumo de agua blanda que utiliza el proceso para compensar las pérdidas del mismo, obteniéndose la siguiente tabla:

**Tabla 8: Volumen máximo de agua consumida en un día por el ciclo térmico**

Carga (MW)	Vapor a proceso (Kg/día)	Densidad del agua a 27 C (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /día)
20.00	94,277.88	997.01	94.56
38.00	123,696.48	997.01	124.07
45.00	135,136.97	997.01	135.54

La anterior tabla, presenta la proyección del consumo de agua de aportación que necesita el proceso térmico, el cual es aproximadamente de 136 metros cúbicos de agua blanda por día, en condiciones normales del ciclo, pero si además del consumo normal del ciclo, se asume un diez por ciento de pérdidas inesperadas por el ciclo térmico, debido a fugas imprevistas en la caldera y las tuberías, se encuentra el consumo de vapor del ciclo térmico para compensar estas pérdidas sorpresivas (este porcentaje se considera como sobre diseño para el diseño del sistema de ósmosis inversa):

**Tabla 9: Volumen máximo de agua/día por el ciclo térmico (10 % consumo extra)**

Carga (MW)	Porcentaje aumentado debido a pérdidas	Vapor a proceso (Kg/día)	Densidad del agua a 27 C (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> /día)
20	110	103,705.67	997.01	104.02
38	110	136,066.13	997.01	136.47
45	110	148,650.66	997.01	149.10

Esta tabla refleja el consumo aproximado de agua de aportación que utiliza el ciclo térmico para compensar las pérdidas (normales e inesperadas) que el presenta, siendo este consumo igual a 150 metros cúbicos de agua desmineralizada por día de operación. Con este dato se procede a dimensionar la planta de Ósmosis Inversa, el cual se realizó en la sección del estudio técnico de la planta de Ósmosis Inversa.

#### **5.1.1.6 Balance de energía en el Sistema de evaporación (Desaireador-Evaporador)**

Solamente los flujos de vapor que entra al proceso como compensación y el calor necesario para efectuar la evaporación, son necesarios para evaluar el sistema desde el punto de vista térmico, los cuales se compararan con el sistema de Ósmosis Inversa propuesto.

A partir del resultado el balance de energía, realizado al sistema de evaporación, se crean las siguientes tablas y graficas, para cada carga y hora de operación del sistema en estudio (ver anexo D del sistema de evaporación: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA):

## V. RESULTADOS

**Tabla 10: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 5)**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)	Flujo de calor (Kj/h)
20	5	3,489.5314	9,804,524.8295
		4,407.8291	12,213,491.8382
		4,407.8291	12,220,993.3841
		3,694.7980	10,230,905.3013
		3,788.6341	10,435,845.1561

**Grafica 7: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 5)**



**Tabla 11: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 6)**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)	Flujo de calor (Kj/h)
20	6	3,489.5314	9,804,524.8295
		4,407.8291	12,213,491.8382
		3,673.1910	10,184,161.1534
		4,433.7576	12,277,086.3615
		3,489.5314	9,788,940.8794

## V. RESULTADOS

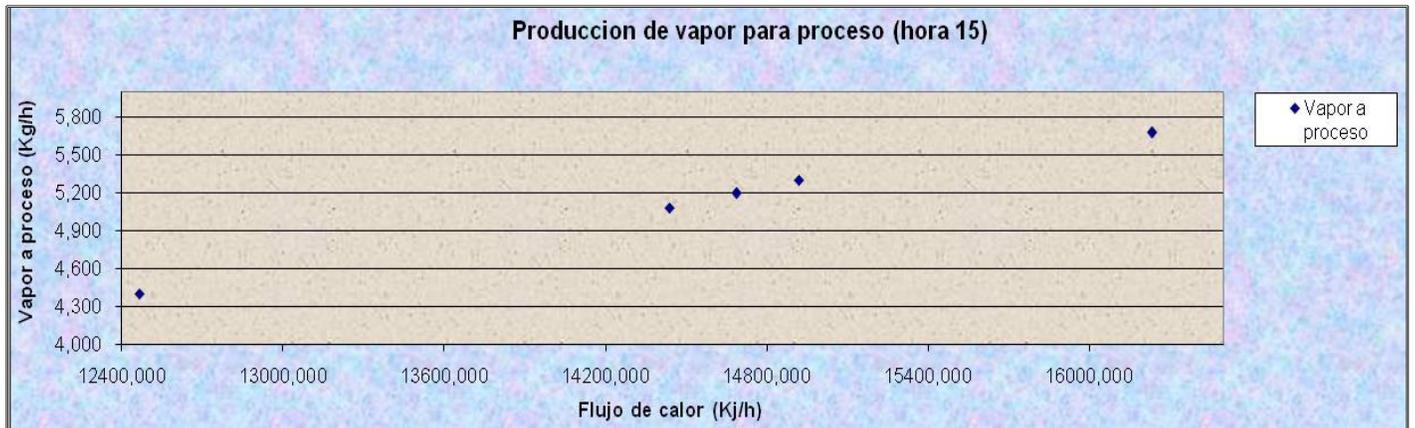
**Grafica 8: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 20 MW (hora 6)**



**Tabla 12: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 15)**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)	Flujo de calor (Kj/h)
38	15	5,677.0864	16,232,707.6493
		5,079.2068	14,437,976.1644
		4,397.6180	12,467,703.1644
		5,195.5245	14,686,707.6496
		5,304.0877	14,918,936.2946

**Gráfico 9: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 15)**



**Tabla 13: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 16)**

Carga (MW)	Hora	Vapor a proceso (Kg/h)	Flujo de calor (Kj/h)
38	16	3,548.1790	10,149,058.3004
		5,079.2068	14,437,976.1644
		5,130.5543	14,545,653.6918
		5,195.5245	14,626,256.9016
		5,304.0877	14,918,936.2946

**Grafica 10: Calor necesario para obtener vapor como compensación del ciclo térmico con una carga de 38 MW (hora 16)**



Las gráficas representan el flujo de agua de compensación que utiliza el ciclo térmico para reponer las pérdidas del mismo. Estas graficas reflejan una proporcionalidad entre el calor necesario para efectuar la evaporación y el vapor necesario para compensar las pérdidas del ciclo térmico, demostrando una cierta estabilidad del sistema de evaporación.

**5.1.1.6.1 Calor necesario para cada carga generada por el sistema térmico**

En base a las tablas: 10, 11, 12 y 13; se realiza un promedio estadístico de cada flujo de calor necesario para la evaporación del agua blanda. En dicho análisis se elimina el primer dato de la tabla 13, por no considerarse estadísticamente aceptable (para más detalles, ver anexo E: Análisis estadístico de los datos de operación); obteniéndose la siguiente tabla:

**Tabla 14: Promedios de los flujos de calor para cada carga y hora de operación**

Carga (MW)	Hora	Flujo de calor (Kj/h)
20	5	10,981,152
20	6	10,853,641
38	15	14,548,806
38	16	14,632,206

Ver el anexo E: Análisis estadístico de los datos de operación,

Con la tabla 14, se procede a calcular los promedios de flujo de calor de cada hora de operación del sistema de compensación, en correspondencia a la carga generada:

**Tabla 15: Promedio de flujo de calor para cada carga de operación**

Carga (MW)	Flujo de calor (Kj/h)
20	10,917,397
38	14,590,506

Conociendo los promedios de consumo de calor para producir vapor con cargas de 20 y 38 megavatios, respectivamente, se puede proyectar el consumo del calor para la carga máxima del sistema, es decir, a 45 megavatios.

Por medio de una regresión lineal, se encuentra la ecuación que caracteriza el flujo de calor con la carga generada (Ver análisis de regresión lineal en el anexo E: Análisis estadístico de los datos de operación):

$$\text{Flujo de calor (Kj/h)} = 6,836,164 + 204,062 * \text{Carga (MW)} \quad \text{ec. 45}$$

Utilizando la ecuación anterior, se calcula el flujo de calor que se necesita para una carga de 45 megavatios, obteniéndose un flujo de calor igual a 16,018,937 kilojulio por hora.

#### 5.1.1.7 Tipos de mantenimiento realizados en el sistema de evaporación

Para mejorar el rendimiento del proceso de agua de aportación del ciclo térmico, la empresa efectúa un mantenimiento preventivo, predefinido; pero también realiza un mantenimiento correctivo (no planificado), el cual se aplica a la hora de un desperfecto en uno de los equipos del sistema.

El mantenimiento preventivo, que se aplica a los equipos (tanque de agua cruda, filtro de arena, zeolitas, desaireador del evaporador y evaporador, y a las bombas de agua cruda),

## V. RESULTADOS

depende de las horas de operación y años de funcionamiento de los mismos, pero también está en dependencia de su rendimiento esperado, para el tiempo programado de su mantenimiento.

Entre los tipos de mantenimientos preventivos que se realiza en los equipos del sistema de evaporación y el periodo de los mismos, están:

**Tabla 16: Tipos y periodo de mantenimiento realizados al sistema de evaporación**

Equipo	Mantenimiento <sup>(1)</sup>	Periodo de mantenimiento <sup>(1,2)</sup>
Bombas agua cruda	Cambio de cojines	8,000 horas de operación
	Cambio de sellos mecánicos	
Tanque de agua cruda	Ninguno	---
Filtro de arena	Desde 1995, no se hace necesario	La presión, es el parámetro de su funcionamiento optimo
Zeolita	Regeneración con salmuera	530 m <sup>3</sup> de agua cruda alimentada 3 años a 5 años
	Panel de control	
Desaireador del evaporador	Inspección	2 años
	Acomodo de platos	
	Sistema de distribución	
Evaporador	Craqueo	2 años
	Sandblasting	

Fuente: (1) Ing. Aurelio Castro, Responsable laboratorio GECSA

(2) Ing. Pedro Cárdenas, Jefe Mantenimiento GECSA

Otros mantenimientos que se aplican, son los cambios de: válvulas, manómetros, entre otros de menor relevancia.

En el caso del mantenimiento del evaporador, la empresa a pesar de contar con un sistema de craqueo, no lo utiliza, debido a su mal diseño, por lo cual la empresa contrata el servicio de Sandblasting, para el mantenimiento del evaporador.

Estos dos métodos para el mantenimiento del evaporador, se basan en:

- Craqueo: Es para la limpieza externa de los tubos del evaporador; se realiza calentando los tubos con vapor e inmediatamente enfriándolos bruscamente con agua cruda en la parte de la coraza. Este método elimina las incrustaciones en las paredes externas de los tubos.
- Sandblasting: Su objetivo es el mismo del craqueo, eliminar las incrustaciones en las paredes de los tubos. Se realiza soplando con arena las paredes externas de los tubos del evaporador. Se debe retirar los tubos del evaporador para ello.

## V. RESULTADOS

A parte del mantenimiento preventivo que se realiza al sistema de compensación, existe también un tratamiento químico, que se le brinda al evaporador. Este tratamiento químico se inyecta en la coraza, para reducir las incrustaciones y eliminar el Oxígeno disuelto en el agua blanda. Los nombres comerciales de los químicos que utiliza la empresa para este tratamiento, son: el Vapen 300, utilizado como inhibidor de depósitos; y el Vapen 260-S (sulfito de sodio), que sirve como captador de Oxígeno.

El inhibidor de depósitos, altera la estructura cristalina de los lodos, brindándole fluidez, provocando su fácil eliminación a través de la purga continua del evaporador; y el sulfito de sodio, actúa como un secuestrante de Oxígeno, a este método se conoce como desaeración química; la reacción que se da, es la siguiente:



El sulfato de sodio es también eliminado a través de la purga continua del evaporador.

En general la empresa tiene en su plan de funcionamiento, un mantenimiento preventivo cada 6 (seis) meses, donde se pone más énfasis al mantenimiento de los equipos del sistema del ciclo térmico, y solamente se chequean y se les da mantenimiento a los instrumentos utilizados en el proceso de agua de compensación del ciclo térmico.

### 5.1.1.7.1 Reparaciones efectuadas en el sistema de compensación

Solamente han existido reparaciones en los espejos del evaporador, debido a fisuras en ellos. Esto fue, ya hace, algunos años.

En lo que respecta a los demás equipos, solamente se efectúan reparaciones en los sistemas de monitoreo, como es el caso del panel de control de las zeolitas, el cual ha presentado daños en su sistema de control.

### 5.1.2 Sistema de ósmosis inversa

Tomando un promedio del comportamiento de las concentraciones que presento el cloruro en los días en que se analizó el sistema de evaporación (ver anexo I: Análisis del agua cruda para agua de compensación) y utilizando el software Reverse Osmosis System Analysis, ROSA, se procedió a ajustar la concentración encontrada a un sistema de membrana para encontrar un sistema óptimo, desde el punto de vista financiero y flexibilidad del sistema.

#### 5.1.2.1 Cálculos para diseñar el sistema de ósmosis inversa

Calculando el promedio de la concentración del cloruro después de pasar por la zeolita (este promedio de la concentración del cloruro después de la salida de la zeolita es para suponer como funcionaria el sistema de ósmosis inversa, con los actuales equipos auxiliares, es decir, el filtro de arena y la zeolita, pero después hay que tener en cuenta la vida útil de

## V. RESULTADOS

dichos equipos auxiliares, ya que estos están en operación desde que inicio a operar el ciclo térmico, o sea, a inicios de 1970), se obtuvo la siguiente tabla:

**Tabla 17: Promedio de concentración de cloruro a la salida de la zeolita**

Hora	08-09-2005	08-18-2005	08-21-2005	08-24-2005	08-31-2005	Promedio (ppm)	Promedio total (ppm)
	Cl <sup>-</sup> (ppm)						
800	48	50	50	44	48	48	48.1
1830	49	49	49	46	48	48.2	

Conocida la concentración del cloruro y la cantidad de agua requerida por el ciclo térmico a máxima potencia, se procede con los pasos planteados por The Dow Chemical Company.

- 1) Seleccionar el tipo de agua que se utilizara en el proceso, concentración de la alimentación, flujo de la alimentación y del producto, y calidad requerida del producto
  - Agua de pozo, SDI < 3
  - Concentración de STD = 48.1 ppm
  - Flujo de permeado requerido= 150m<sup>3</sup>/día
  - N<sub>EPV</sub> = 6 elementos por caja de presión o contenedor de presión

- 2) Elegir la configuración del flujo y el número de pasos

- Circulación tapón
- Operación semi-discontinua
- Simple paso

- 3) Escoger el tipo de membrana y el tipo de elemento

- Elemento FILMTEC™ BW30-440 (S<sub>E</sub> = área activa de membrana = 40.88 m<sup>2</sup>)

- 4) Seleccionar el promedio de flujo por membrana (flujo de diseño)

- Flujo de diseño= 30.5 l/m<sup>2</sup>h

- 5) Calcular el número de elementos necesarios

$N_E = (150 \text{ m}^3/\text{d}) \{ (41.67 \text{ L/h}) / (1 \text{ m}^3/\text{d}) \} / (40.88 \text{ m}^2) (30.5 \text{ L/m}^2/\text{h}) = 6$  números total de elementos necesarios para el sistema (resultado redondeado al número par más cercano)

- 6) Calcular el número de contenedores de presión necesarios

$N_V = 6 / 6 = 1$  contenedor de presión o caja de presión

## V. RESULTADOS

7) Seleccionar el número de etapas

Número de etapas para 1 caja de presión y con una recuperación del 55 % = 1

8) Escoger la proporción de la presentación (proporción del arreglo)

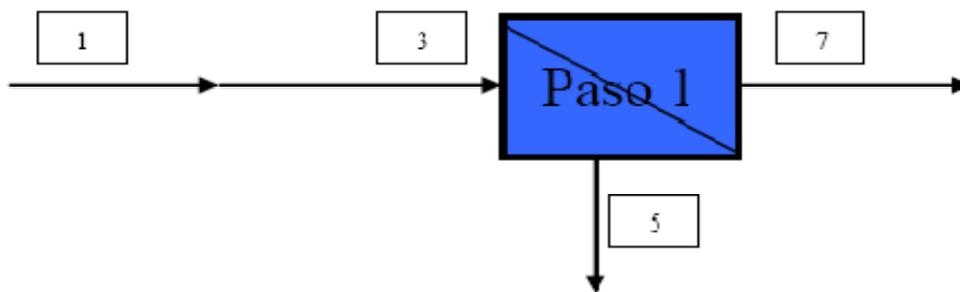
R = no existe proporción, ya que solo hay una etapa

9) Balancear la velocidad del flujo del permeado

Procesando los datos obtenidos en los pasos anteriores con el programa ROSA, se obtuvieron las siguientes informaciones:

### 5.1.2.2 Diseño del Sistema con los datos obtenidos

**Figura 11: Diagrama esquemático del sistema de ósmosis inversa con los datos obtenidos**



La figura 11 representa el módulo de ósmosis inversa, donde: el número 3 simboliza el agua ionizada, el número 5 simboliza el rechazo o agua rechazada con alto nivel de sal y por último el número 7 simboliza el agua permeada o permeado.

**Tabla 18: Información del sistema requerido con los datos obtenidos**

<b>Salinidad Agua Bruta</b>	48.10 mg/l	<b>% Conversión del Sistema (7/1)</b>	55 %
<b>Clasificación del Agua</b>	Agua de Pozo SDI < 3	<b>Fouling Factor (Paso 1)</b>	0.85
<b>Temperatura de Alimentación</b>	27.0 C		

En la tabla 18, muestra las condiciones de entrada del agua ionizada, así como la clasificación de la misma y el rendimiento deseado para el sistema (el cual ronda entre 50 al 60 por ciento; The Dow Chemical Company, 2005). El factor de obstrucción o Fouling, comúnmente es de 0.85.

**Tabla 19: Resultados obtenidos por el programa con los datos obtenidos**

<b>Paso</b>	Paso 1
<b>Etapas</b>	1
<b>Tipo de Elemento</b>	BW30-440i
<b>Cajas de presión por etapa</b>	1
<b>Elementos por caja de presión</b>	6
<b>Número Total de Elementos</b>	6
<b>Flujo específico medio del paso</b>	25.48 l/mh
<b>Flujo Medio De la Etapa</b>	25.48 l/mh
<b>Contrapresión de permeado</b>	0.00 bar
<b>Presión Booster</b>	0.00 bar
<b>Dosificación Química</b>	-
<b>Consumo de Energía</b>	0.56 kWh/m <sup>3</sup>

La tabla 19, muestra un resumen de los elementos o características del módulo de ósmosis inversa. En el caso de la dosificación química, no hay ningún resultado por no tener un análisis más detallado del agua cruda, por lo que el programa omite este análisis.

**Tabla 20: Caudal de operación en el sistema de ósmosis inversa con los datos obtenidos**

<b>Paso 1</b>			
<b>Corriente n°</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>STD (mg/l)</b>
1	272.73	0.00	48.10
3	272.73	8.93	48.11
5	122.73	7.19	106.45
7	150.00	-	0.37
7/1	<b>% Conversión</b>	55	

En la tabla 20 se puede ver los caudales de cada una de las corrientes nombradas con anterioridad, las presiones de ellas y los sólidos totales disueltos (STD) de tanto en la entrada como del agua permeada, todo con un porcentaje de recuperación del 55 por ciento.

**Advertencias de Diseño:** Este diseño no presenta ningún riesgo, a la hora de su aplicación.

**Advertencias de Solubilidad:** No existen advertencias de diseño.

## V. RESULTADOS

**Tabla 21: Detalles del Sistema con los datos obtenidos**

<b>Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa</b>	272.73 m <sup>3</sup> /d	<b>Caudal de Permeado Paso 1</b>	150.00 m <sup>3</sup> /d	<b>Presión Osmótica:</b>	
<b>Caudal de Agua Bruta al Sistema</b>	272.73 m <sup>3</sup> /d	<b>Conversión Paso 1</b>	55 %	<b>Alimentación</b>	0.04 bar
<b>Presión de Alimentación</b>	8.93 bar	<b>Temperatura de Alimentación</b>	27 °C	<b>Concentrado</b>	0.09 bar
<b>Fouling Factor</b>	0.85	<b>STD Alimentación</b>	48.11 mg/l	<b>Media</b>	0.07 bar
<b>Dosificación Química</b>	Ninguno	<b>Número de Elementos</b>	6	<b>NDP media</b>	7.82 bar
<b>Área Activa Total</b>	245.26 m <sup>2</sup>	<b>Flujo específico medio Paso 1</b>	25.48 lmh	<b>Potencia</b>	3.52 kW
<b>Clasificación del Agua: Agua de Pozo SDI &lt; 3</b>				<b>Energía Específica</b>	0.56 kWh/m <sup>3</sup>

De la tabla 21, se puede decir: que el área activa total utilizada por las membranas para permear el agua ionizada, es de 245.26 metros cuadrados; con una recuperación del cincuenta y cinco por ciento, para lo cual el sistema debe de contar con un total de seis membranas (elementos) dispuestas en una sola caja de presión.

**Tabla 22: Datos de operación del sistema con los datos obtenidos**

<b>Etapa</b>	1	<b>Caudal de concentrado (m<sup>3</sup>/d)</b>	122.73
<b>Elemento</b>	BW30-440i	<b>Presión del concentrado (bar)</b>	7.19
<b>Nº Cajas de presión</b>	1	<b>Caudal de Permeado (m<sup>3</sup>/d)</b>	150.00
<b>Nº Elementos</b>	6	<b>Flujo específico medio (lmh)</b>	25.48
<b>Caudal de Alimentación (m<sup>3</sup>/d)</b>	272.73	<b>Presión de Permeado (bar)</b>	0
<b>Presión de Alimentación (bar)</b>	8.58	<b>Presión Booster (bar)</b>	0
<b>Caudal de Recirculación (m<sup>3</sup>/d)</b>	0	<b>STD Permeado (mg/l)</b>	0.37

La tabla 22 presenta un resumen de los caudales utilizados por el sistema de ósmosis inversa, entre los que se puede mencionar, los caudales de alimentación y de permeado, con 250 y 150 metros cúbicos de agua respectivamente, y con una presión de 858 kilopascal

## V. RESULTADOS

(8.58 bar) para el flujo de alimentación y una presión de cero kilopascal (0 bar) para el flujo permeado.

**Tabla 23: Concentraciones de componentes químicos durante la operación con los datos obtenidos**

<b>Corrientes Paso (mg/l como ión)</b>					
<b>Nombre</b>	<b>Alimentación</b>	<b>Alimentación ajustada</b>	<b>Concentrado</b>	<b>Permeado</b>	
			<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Total</b>
<b>NH4</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>K</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na</b>	18.92	18.92	41.87	0.14	0.14
<b>Mg</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ca</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Sr</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ba</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>HCO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>NO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cl</b>	29.18	29.18	64.57	0.22	0.22
<b>F</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SO4</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Boro</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SiO2</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CO2</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>STD</b>	48.10	48.11	106.45	0.37	0.37
<b>pH</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

La tabla 23, da una idea de las concentraciones del cloruro de sodio en su forma iónica y de los sólidos totales disueltos (STD) presentes en el agua tanto de alimentación como el de permeado, este análisis es muy pobre, ya que para tener un dato más confiable es recomendable realizar un análisis más minucioso del agua ionizada (ver anexo H del sistema de ósmosis inversa: Formato para el análisis físico-químico del agua).

**Tabla 24: Detalles de la etapa con los datos obtenidos**

Etapa 1	Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m <sup>3</sup> /d)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m <sup>3</sup> /d)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
	1	0.10	26.83	0.24	272.73	48.11	8.58
	2	0.11	25.89	0.28	245.90	53.33	8.24
	3	0.11	25.10	0.33	220.01	59.57	7.95
	4	0.13	24.48	0.38	194.91	67.20	7.70
	5	0.14	24.01	0.45	170.43	76.80	7.49
	6	0.16	23.69	0.55	146.42	89.32	7.32

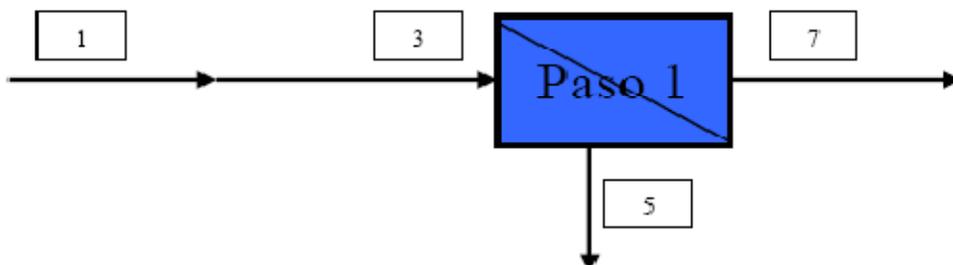
En la tabla 24 se puede apreciar los diferentes caudales que van tomando las 6 (seis) membranas de ósmosis inversa y la presión de entrada en cada una de ellas, para logra un caudal permeado de 150 metros cúbicos por día.

**5.1.2.3 Diseño del Sistema con el mejor ajuste**

Los valores que a continuación se presentan, son del mejor ajuste encontrado por el programa ROSA, los cuales fueron hallados, con solo incorporar valores razonables en el programa ROSA, pero teniendo en cuenta las características del sistema y sin exagerar en el número de membranas; lo que significa un mayor costo de inversión y un mayor consumo energético.

Se mantienen los datos obtenidos por el análisis del agua ionizada (agua a la salida de la zeolita), o sea, la concentración de cloruro y la temperatura del agua ionizada.

**Figura 12: Diagrama esquemático del sistema de ósmosis inversa con el mejor ajuste**



La figura 12 representa el módulo de ósmosis inversa, donde: el número 3 simboliza el agua ionizada, el número 5 simboliza el rechazo o agua rechazada con alto nivel de sal y por último el número 7 simboliza el agua permeada o permeado.

## V. RESULTADOS

**Tabla 25: Información del sistema requerido con el mejor ajuste**

<b>Salinidad Agua Bruta</b>	48.10 mg/l	<b>% Conversión del Sistema (7/1)</b>	65.00 %
<b>Clasificación del Agua</b>	Agua de Pozo SDI < 3	<b>Fouling Factor (Paso 1)</b>	0.85
<b>Temperatura de Alimentación</b>	27.0 C		

En la tabla 25, muestra las condiciones de entrada del agua ionizada, así como la clasificación de la misma y el rendimiento deseado para el sistema.

**Tabla 26: Resultados obtenidos por el programa con el mejor ajuste**

<b>Paso</b>	Paso 1
<b>Etapa</b>	1
<b>Tipo de Elemento</b>	BW30LE-4040
<b>Cajas de presión por etapa</b>	4
<b>Elementos por caja de presión</b>	8
<b>Número Total de Elementos</b>	32
<b>Flujo específico medio del paso</b>	25.64 l/mh
<b>Flujo Medio De la Etapa</b>	25.64 l/mh
<b>Contrapresión de permeado</b>	0.00 bar
<b>Presión Booster</b>	0.00 bar
<b>Dosificación Química</b>	-
<b>Consumo de Energía</b>	0.32 kWh/m <sup>3</sup>

La tabla 26, muestra un resumen de los elementos del módulo de ósmosis inversa. En el caso de la dosificación química, se aplica el comentario del diseño anterior.

**Tabla 27: Caudal de operación en el sistema de ósmosis inversa con el mejor ajuste**

<b>Paso 1</b>			
<b>Corriente n°</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>STD (mg/l)</b>
1	230.77	0.00	48.10
3	230.77	5.95	48.11
5	80.77	3.92	135.92
7	150.00	-	0.83
7/1	<b>% Conversión</b>	65.00	

## V. RESULTADOS

En la tabla 27 se puede ver los caudales de cada una de las corrientes nombradas con anterioridad, las presiones de ellas y los sólidos totales disueltos (STD).

**Advertencias de Diseño:** Este diseño no presenta ningún riesgo, a la hora de su aplicación.

**Advertencias de Solubilidad:** No existen advertencias de diseño.

**Tabla 28: Detalles del sistema con el mejor ajuste**

<b>Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa</b>	230.77 m <sup>3</sup> /d	<b>Caudal de Permeado Paso 1</b>	150.00 m <sup>3</sup> /d	<b>Presión Osmótica:</b>	
<b>Caudal de Agua Bruta al Sistema</b>	230.77 m <sup>3</sup> /d	<b>Conversión Paso 1</b>	65.00 %	<b>Alimentación</b>	0.04 bar
<b>Presión de Alimentación</b>	5.95 bar	<b>Temperatura de Alimentación</b>	27.0 C	<b>Concentrado</b>	0.11 bar
<b>Fouling Factor</b>	0.85	<b>STD Alimentación</b>	48.11 mg/l	<b>Media</b>	0.08 bar
<b>Dosificación Química</b>	Ninguno	<b>Número de Elementos</b>	32	<b>NDP media</b>	4.68 bar
<b>Área Activa Total</b>	243.77 m <sup>2</sup>	<b>Flujo específico medio Paso 1</b>	25.64 lmh	<b>Potencia</b>	1.99 kW
<b>Clasificación del Agua: Agua de Pozo SDI &lt; 3</b>			<b>Energía Específica</b>		0.32 kWh/m <sup>3</sup>

De la tabla 28, se puede decir: el área activa total utilizada por las membranas para permear el agua ionizada, es de 243.77 metros cuadrados con una recuperación del 65 %; para lo cual es sistema debe de contar con treinta y dos membranas dispuestas en cuatro cajas de presión.

**Tabla 29: Datos de operación del sistema con el mejor ajuste**

<b>Etapa</b>	1	<b>Caudal de concentrado (m<sup>3</sup>/d)</b>	80.77
<b>Elemento</b>	BW30LE-4040	<b>Presión del concentrado (bar)</b>	3.92
<b>Nº Cajas de presión</b>	4	<b>Caudal de Permeado (m<sup>3</sup>/d)</b>	150
<b>Nº Elementos</b>	8	<b>Flujo específico medio (lmh)</b>	25.64
<b>Caudal de Alimentación (m<sup>3</sup>/d)</b>	230.77	<b>Presión de Permeado (bar)</b>	0
<b>Presión de Alimentación (bar)</b>	5.6	<b>Presión Booster (bar)</b>	0
<b>Caudal de Recirculación (m<sup>3</sup>/d)</b>	0	<b>STD Permeado (mg/l)</b>	0.83

## V. RESULTADOS

La tabla 29, presenta un resumen de los caudales utilizados por el sistema de ósmosis inversa, entre los que se puede mencionar, los caudales de alimentación y de permeado, con 230.77 y 150 metros cúbicos de agua respectivamente, y con una presión de 560 kilopascal (5.6 bar) para el flujo de alimentación y una presión de cero kilopascal (0 bar) para el flujo permeado.

**Tabla 30: Concentraciones de componentes químicos durante la operación con el mejor ajuste**

<b>Corrientes Paso (mg/l como ión)</b>					
<b>Nombre</b>	<b>Alimentación</b>	<b>Alimentación ajustada</b>	<b>Concentrado</b>	<b>Permeado</b>	
			<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Total</b>
<b>NH4</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>K</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na</b>	18.92	18.92	53.46	0.32	0.32
<b>Mg</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ca</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Sr</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ba</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>HCO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>NO3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Cl</b>	29.18	29.18	82.45	0.50	0.50
<b>F</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SO4</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Boro</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SiO2</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CO2</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>STD</b>	48.10	48.11	135.92	0.83	0.83
<b>pH</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

La tabla 30, da una idea de las concentraciones del cloruro de sodio en su forma iónica y de los sólidos totales disueltos (STD) presentes en el agua tanto de alimentación como el de permeado, este análisis es muy pobre, ya que para tener un dato más confiable es recomendable realizar un análisis más minucioso del agua ionizada (ver anexo H del sistema de ósmosis inversa: Formato para el análisis físico-químico del agua).

## V. RESULTADOS

**Tabla 31: Detalles de la etapa buscando el mejor ajuste**

Etapa 1	Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m <sup>3</sup> /d)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m <sup>3</sup> /d)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
	1	0.10	5.55	0.43	57.69	48.11	5.60
	2	0.10	5.24	0.51	52.14	53.18	5.25
	3	0.11	4.95	0.60	46.90	59.07	4.95
	4	0.11	4.71	0.71	41.95	65.97	4.69
	5	0.12	4.50	0.85	37.24	74.23	4.47
	6	0.13	4.33	1.01	32.73	84.32	4.29
	7	0.15	4.17	1.24	28.41	97.01	4.14
	8	0.17	4.04	1.54	24.23	113.50	4.01

En la tabla 31 se puede apreciar los diferentes caudales que van tomando las 8 (ocho) membranas de ósmosis inversa (arregladas en cuatro cajas de presión) y la presión de entrada en cada una de ellas, para lograr un caudal permeado de 150 metros cúbicos por día.

## 5.2 COMPARACIÓN DE COSTOS

### 5.2.1 Sistema de evaporación

#### 5.2.1.1 Costos de mantenimiento preventivo

Los costos relacionados con el funcionamiento de los equipos del sistema de evaporación, para que estos operen en buena condición, hasta que se cumpla en periodo de mantenimiento del mismo, es el siguiente:

**Tabla 32: Costos de mantenimiento de los equipos del sistema de evaporación <sup>(1)</sup>**

Nº	Cantidad	Equipo	Periodo mantenimiento	Costos (C\$)	Costos <sup>(2)</sup> (\$)
1	2	Bomba de agua cruda	8,000 horas operación	30,000	1,704.55
2	1	Tanque agua cruda	Ninguno	---	---
3	2	Bomba de servicio de planta	8,000 horas operación	30,000	1,704.55
4	1	Filtro de arena	3 años	10,000	568.18
5	2	Zeolita	5 años	6,000	340.91
6	1	Desaireador del evaporador	2 años	30,000	1,704.55
7	1	Evaporador	2 años	30,000	1,704.55

(1) Fuente: Ing. Pedro Cárdenas, Jefe Mantenimiento GECSA

(2) Precio de un dólar igual a 17.60 córdobas, 16/11/2005

El funcionamiento de las bombas de agua cruda y de servicio de planta, es alternante, es decir, cuando se encuentra en funcionamiento una, la otra se encuentra en mantenimiento y a la vez sirve de emergencia. De igual manera operan las zeolitas, de forma alternante, mientras una se encuentra en operación, la otra se está regenerando.

El mantenimiento del evaporador, desaireador del evaporador, filtro de arena y de las zeolitas es contratado por la empresa, quedando solamente para la empresa el mantenimiento rutinario de los instrumentos de medición, donde estos costos no son representativos para el estudio.

#### 5.2.1.2 Costos tratamiento químico

El tratamiento químico, se aplica solamente al agua blanda que entra al evaporador, a través de la coraza. Las sustancias inyectadas son: inhibidor de depósitos y sulfito de sodio.

## V. RESULTADOS

Para la regeneración de la zeolita, se utiliza sal común, o sea, cloruro de sodio; diluido en agua. Esta operación se realiza cada 530 m<sup>3</sup> de agua blanda generada por la zeolita. En la siguiente tabla, se muestran los costos relacionados a estos tratamientos:

**Tabla 33: Costos relacionados al tratamiento químico <sup>(1)</sup>**

Nº	Equipo	Sustancia	Cantidad requerida <sup>(2)</sup>	Cantidad comprada <sup>(2)</sup>	Costo <sup>(3)</sup> (U\$)
01	Zeolita	Sal común	50 quintales (2,272.5 kilogramos)	30 quintales (1,363.5 kilogramos)	89.00
02	Evaporador	Inhibidor de depósitos	33 galones (124.839 litros)	34 galones (139.971 litros)	481.00
03	Evaporador	Sulfito de sodio	30 kilogramos	34 kilogramos	121.00

(1) Fuente: Ing. Aurelio Castro, Responsable Laboratorio GECSA

(2) Cantidades requeridas y compradas por mes

(3) Costos del mes de julio 2005

Las cantidades compradas son las mínimas que la empresa proveedora vende, por lo que la empresa se ve obligada a comprar más de lo que necesita de un producto cada mes. Realizando los cálculos necesarios para conocer los gastos de cada sustancia según su utilidad, se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 34: Costos expresados en cantidad utilizadas al mes**

Nº	Equipo	Sustancia	Cantidad utilizada	Costo (Dólar/ Cantidad comprada)	Costo total (U\$)
1	Zeolita	Sal común	50 quintales (2,272.5 kilogramos)	2.97 (U\$/qq)	148.33
2	Evaporador	Inhibidor de depósitos	33 galones (124.839 litros)	14.15 (U\$/gal)	466.85
3	Evaporador	Sulfito de sodio	30 kilogramos	3.56 (U\$/Kg)	106.76
<b>Total de costos para el tratamiento químico (dólar/mes)</b>					<b>721.94</b>

El gasto global, debido a la compra de las sustancias para realizar el tratamiento químico al evaporador y en la regeneración de la zeolita, es de U\$ 721.94 (setecientos veinte y un dólar con 94/100 centavos dólar) por mes.

5.2.2 Sistema de ósmosis inversa

5.2.2.1 Costo de adquisición de equipos

A continuación se presenta un resumen de la cotización presentada por la empresa OSMOSISTEMAS DE CENTROAMERICA, S.A. (única empresa que envió una cotización sobre el sistema de ósmosis inversa), donde hace una propuesta de seis equipos que forman parte del sistema de ósmosis inversa. Hay que hacer notar que esta cotización no es el de la empresa con que se diseñó el sistema de ósmosis inversa presentado en la sección del estudio técnico para el sistema de ósmosis inversa, debido a que la empresa The Dow Chemical Company no envió una cotización para el sistema propuesto.

Para que el ciclo térmico funcione las 24 horas de forma continua, se hará necesario de contar de dos sistemas de ósmosis inversa, incluyendo los equipos del pretratamiento; ya que cuando se desee poner fuera de operación un equipo activo, para ser limpiado o repararlo; entrara en funcionamiento el otro equipo que estaba inactivo. La tabla que a continuación se presenta resume el costo por equipo que necesitara el sistema de ósmosis inversa (ver anexo J: Cotización del sistema de ósmosis inversa):

**Tabla 35: Costos para los equipos necesarios en el sistema de ósmosis inversa**

Número	Equipo	Cantidad	Costo unitario (dólar)	Costo total (dólar)
01	Bomba de alimentación	1	2,635.00	2,635.00
02	Filtro de arena	2	11,538.00	23,076.00
03	Filtro de carbón	2	7,367.00	14,734.00
04	Filtro suavizadores	2	8,667.00	17,334.00
05	Maquina de ósmosis inversa	2	54,031.00	108,062.00
06	Maquina de Electrodionización	1	56,215.00	56,215.00
07	Otros (Instalación de equipos y puesta en marcha)		13,000.00	13,000.00
<b>Total (dólar)</b>				<b>235,056.00</b>

El monto de adquisición (junio de 2006) del sistema de ósmosis inversa es de US\$ 235,056.00 (doscientos treinta y cinco mil cincuenta y seis dólares netos), los cuales incluyen la instalación de los equipos, sin ninguna obra civil; y la capacitación del personal.

El costo del mantenimiento que tendría el sistema de ósmosis inversa sería de US\$ 22,205.6, el cual equivale al diez por ciento del costo de los equipos del sistema de ósmosis inversa (Perry, 1999).

En el anexo K se presenta un análisis económico realizado por una hoja de cálculo (la cual forma parte del programa computacional ROSA) titulada como: Element Value Analysis,

## V. RESULTADOS

(EVA), donde se presenta la relación entre el gasto de energía contra la inversión realizada, para las dos corridas realizadas por el programa computacional ROSA.

Los resultados obtenidos por el Element Value Analysis, reflejan una comparación entre los dos tipos de membranas desde el punto de vista de costo, tales como: costo por bombeo y el gasto por reemplazo de las membranas, así también los costos operacionales de las membranas, todos los gastos están dados en unidades monetarias por unidades cúbicas de agua permeada (dólares/metros cúbicos de agua permeada). Este análisis se presenta en el anexo K del sistema de ósmosis inversa: Element Value Analysis.

### 5.3 RESULTADOS AMBIENTALES

#### 5.3.1 Sistema de evaporación

La identificación de contaminaciones generadas por el sistema de evaporación, se pueden catalogar como: contaminación sonora y contaminación líquida. No existiendo contaminación sólida en este sistema de evaporación.

La contaminación sonora se genera en las bombas de agua cruda y la contaminación líquida se produce en la purga del evaporador y en la regeneración de las zeolitas.

En la tabla 36, se muestran las características de estas contaminaciones:

**Tabla 36: Caracterización de los contaminantes del sistema de evaporación**

Tipo de contaminación	Fuente	Parámetro
Sonora	Bombas centrífugas	62 decibeles a 1 metro de distancia y 1.5 metros de altura (de la fuente).
Líquida	Purga del evaporador	Concentración promedio de cloruro: 182.5 ppm. Temperatura: 45 grados centígrados.
	Regeneración de zeolita	Agua residual con una concentración del 10 % de cloruro de sodio.

Fuente: Estudio de impacto ambiental en GECSA, 2000.

#### 5.3.2 Sistema de ósmosis inversa

A igual que el sistema de evaporación, la contaminación generada por el sistema de ósmosis inversa, se pueden clasificar en sonoras y líquidas.

La contaminación sonora se produciría en las bombas de agua cruda y la contaminación líquida se presentaría debido al agua de rechazo, que sería solamente agua con alto contenido de sal; limpieza de las membranas y por la regeneración de las zeolitas.

## V. RESULTADOS

En la tabla 37, se muestran las características de estas contaminaciones, obtenidas a partir del estudio técnico del sistema de ósmosis inversa y de fuentes bibliográficas:

**Tabla 37: Caracterización de los contaminantes del sistema de ósmosis inversa**

<b>Tipo de contaminación</b>	<b>Fuente</b>	<b>Parámetro</b>
Sonoro <sup>(1)</sup>	Bombas centrífugas	64 decibeles a 1 metro de distancia y 1.5 metros de altura (de la fuente).
Líquida <sup>(2)</sup>	Agua de rechazo (concentrado)	Concentración promedio de cloruro: 64.57mg/l. Temperatura: 35 grados centígrados.
	Agua de limpieza de membranas	Agua cruda con detergente neutro
	Regeneración de zeolita	Agua cruda con una concentración del 10 % de cloruro de sodio.

(1) CIRCE, 2002.

(2) The Dow Chemical Company.

### VI. Discusión de resultados

La discusión de resultados se presenta por separado para cada uno de los sistemas, es decir, evaporación y ósmosis inversa.

#### 6.1 Sistema de evaporación

##### 6.1.1 Evaluación técnica

En el balance de materia se puede apreciar que el ciclo térmico con que cuenta la empresa, para generar energía eléctrica, utiliza 94.56 y 124.06 metros cúbicos de agua de compensación al día, a una potencia de 20 y de 38 megavatios, respectivamente; estas potencias son con las que comúnmente la planta trabaja para abastecer energía eléctrica a sus clientes; pero a su máxima potencia de 45 megavatios, el ciclo térmico utiliza 135.54 metros cúbicos de agua de compensación al día.

El análisis estadístico demostró estabilidad en los datos de lectura del sistema, es decir, el sistema de evaporación opera con rangos de temperaturas y presiones estables, esto con un noventa y cinco por ciento de confianza. Dicho análisis se realizó solamente con potencias de 20 y 38 megavatios.

Los datos de agua de compensación obtenidos en el balance de materia, concuerdan aproximadamente con el dato de generación de vapor del evaporador, que tiene la empresa en su manual de operación de la planta, el cual es de 5,335 kg/h (kilogramos por hora) de vapor generado teóricamente contra los 5,630.71 kg/h (kilogramos por hora) de vapor generado realmente por el evaporador (obtenidos por el balance de materia).

Tomando en cuenta las pérdidas existentes en el ciclo térmico, tales como: fuga en tuberías, fuga en la caldera, en la turbina, entre otras; se consideró un diez por ciento más del caudal de vapor utilizado por el ciclo térmico como reposición, es decir que el sistema de agua de compensación que se desea proponer (ósmosis inversa) se sobre diseñara con un diez por ciento más del flujo de vapor que sirve como reposición, obteniéndose un caudal de 150 metros cúbicos de agua pura al día.

En la parte correspondiente del balance energético, se encontró que el sistema de evaporación consume 10,917.4 y 14,588.8 kilojulio por hora a una potencia de 20 y 38 megavatios, respectivamente, y 16,016,585 kilojulio por hora para 45 megavatios; donde esta energía calorífica la toma de una fracción de la tercer extracción de la turbina, que es utilizada para evaporar el agua blanda.

Este uso de calor para evaporar el agua blanda produce pérdida de energía calorífica, pudiendo ser utilizada para calentar aún más el agua que va a la caldera, lo cual lograría aumentar su temperatura de saturación y por ende disminuir el uso de combustible para su evaporación.

### 6.1.2 Análisis de costos

Los únicos costos en que incurre la empresa en los equipos del sistema de evaporación, son los relacionados al mantenimiento preventivo, cuyos costos varían según el equipo, y además el periodo de los mismos son distintos, siendo los mayores: bombas, evaporador y desaireador del evaporador, teniendo un gasto cada uno de ellos de U\$ 1,704.55 (un mil setecientos cuatro dólares con 55/100 centavos), con un periodo de mantenimiento de 1 (uno) a 2 (dos) años.

Otro gasto que tiene la empresa, es en el tratamiento químico, siendo este de U\$ 721.94 (setecientos veinte y un dólar con 94/100 centavos) mensuales; costos repartidos entre las zeolitas y el evaporador.

Hay que notar que la última vez que se les aplicó un mantenimiento correctivo a los equipos del sistema de evaporación, fue hace seis años y fue solamente al evaporador, en el cual se realizó una soldadura a un espejo que presentaba fuga (no se dieron datos sobre este caso); también se han realizado mantenimiento a los controladores de las zeolitas.

### 6.2 Sistema de ósmosis inversa

#### 6.2.1 Estudio técnico

Teniendo en cuenta el promedio de las concentraciones del agua cruda, el cual fue de 48.1 partes por millón, en términos de sólidos totales disueltos, a las horas de generación de energía constante (20 y 38 megavatios, respectivamente); se realizó una comparación entre dos tipos de membranas, una siguiendo los pasos del diseño y otra a través del programa computacional, ROSA; esto para conocer la posibilidad de utilizar membranas de ósmosis inversa en el tratamiento del agua de compensación.

Se puede apreciar que el primer tipo de membrana (BW30-440i), es la más óptima de usar para obtener los 150 metros cúbicos de agua permeada que utiliza el ciclo térmico para compensar sus pérdidas de agua; aunque esta tenga un mayor consumo de energía y un porcentaje de recuperación del agua de alimentación menor con respecto a la no elegida, pero este inconveniente se subsana por las siguientes consideraciones operacionales del sistema de membranas (sin ningún orden de precedencia):

1. Al tener la necesidad de poseer dos equipos de membranas, estas ocuparán un mayor espacio, en términos de área, por lo que el equipo con menor número de membranas es el más recomendado.
2. El mantenimiento de la membrana escogida, se realizará en menor tiempo por la menor cantidad de membranas en su sistema.
3. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) en el caudal permeado, es menor en la membrana seleccionada, provocando un tratamiento iónico menos prolongado.

## VI. Discusión de resultados

Teniendo en cuenta lo planteado con anterioridad, se propone la siguiente distribución del sistema de ósmosis inversa y su incorporación al ciclo térmico:

1. Pozos de agua cruda.
2. Bombas centrífugas.
3. Tanque de almacenamiento de agua cruda.
4. Bombas centrífugas.
5. Filtro de arena.
6. Filtro de carbón activado.
7. Filtro suavizador.
8. Bomba centrífuga.
9. Maquina de ósmosis inversa.
10. Maquina de electrodiionización.
11. Desaireador del tanque de alimentación.

Los equipos enumerados del 5 al 10, contarán con un equipo igual a ellos, para que la hora en que uno de ellos está operando el otro equipo se encuentre en regeneración o en retrolavado.

La distribución que presentarían los equipos nombrados anteriormente, se puede apreciar en la figura 13: Propuesta de distribución del sistema de ósmosis inversa en la planta GECSA, en dicha figura se omiten los equipos alternantes del sistema de ósmosis inversa.

Para implementar esta opción, será necesario detener la planta por ocho días (ver anexo J: Cotización del sistema de ósmosis inversa), los cuales se instalaran los equipos del sistema por el personal calificado de la empresa proveedora; también en estos días sería capacitado el personal de la planta encargado de vigilar y monitorear el sistema de evaporación.

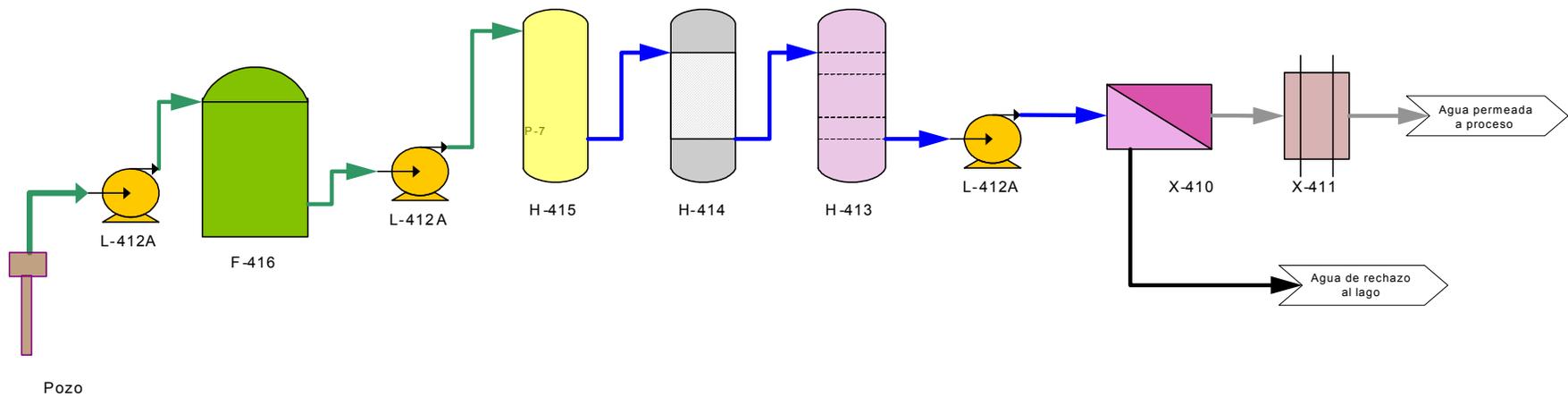
## VI. Discusión de resultados

Figura 13: Propuesta de distribución del sistema de ósmosis inversa en la planta GECSA

<b>Lista de equipamiento</b>	
<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
F-416	Tanque de agua cruda
H-413	Filtro suavizador
H-414	Filtro de carbón activado
H-415	Filtro de arena
L-412A	Bomba centrífuga
X-410	Maquina de ósmosis inversa
X-411	Maquina de electrodionización

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Agua blanda
- Agua permeada
- Agua permeada



### 6.2.2 Análisis de costos

A partir la pro forma presentada por la empresa Osmosistemas de Centroamérica, S.A. y de los costos de mantenimiento, los cuales se consideran constantes en base al diez por ciento del costo total del sistema de ósmosis inversa; el costo de adquirir los seis equipos que conforman el sistema de ósmosis inversa sería de US\$ 235,056.00 (doscientos treinta y cinco mil cincuenta y seis dólares netos), con un mantenimiento anual de US\$ 22,205.6 (veinte y dos mil doscientos cinco dólares con 6/100 centavos).

El mantenimiento de los equipos: bombas, filtro de arena y filtro suavizador; en el sistema de ósmosis inversa, sería más barato que el mantenimiento de los equipos del sistema actual, ya que los equipos del sistema de evaporación tienen una vida útil igual a cero.

### 6.3 Valoración ambiental de ambos procesos

#### 6.3.1 Sistema de evaporación

El sistema de evaporación, no genera contaminación sonora (considerando aceptable el ruido que generan las bombas, el cual es de 62 decibeles, y además que la empresa cumple con lo establecido en el artículo 105 de la ley 185: Código del trabajo); tampoco el sistema genera contaminación gaseosa, pero si genera desechos líquidos, identificada en la purga del evaporador, la cual se descarga hacia un tanque de purga, para ir luego al Lago de Managua, produciéndose una contaminación térmica, ya que la temperatura del efluente es de 45 grados centígrados, pero dicha temperatura se encuentra por debajo de lo estipulado en el Decreto No 33-95 (ver anexo L: Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95)), por lo que no se considera una contaminación.

Para el caso de la regeneración de las zeolitas, se producen desechos líquidos (con 10 % de concentración de cloruro de sodio) que van directamente al Lago de Managua, sin embargo la concentración de cloruro de sodio cumple con el parámetro establecido en el artículo 43 del Decreto No 33-95 (ver anexo L: Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95)), por lo que no se considera una contaminación (Estudio de impacto ambiental en GECSA, 2000).

#### 6.3.2 Sistema de ósmosis inversa

En este sistema, el ruido que generan las bombas, siendo este de 64 decibeles, se considera aceptable tomando en cuenta que la empresa practicaría según lo establecido en el artículo 105 de la ley 185: Código del trabajo; la contaminación gaseosa, es nula para este sistema; pero existen efluentes, los cuales cumplen los parámetros establecidos en el artículo 43 del Decreto No 33-95 (ver anexo L: Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95)); donde las fuentes que los generan se ubican:

- En la producción del agua permeada, se purga o elimina el rechazo o agua con alta concentración salina, a una temperatura un poco mayor a la temperatura del ambiente, 35 grados centígrados.

## VI. Discusión de resultados

- En la limpieza las membranas de la máquina de ósmosis inversa y en la regeneración del suavizador.

### 6.4 Comparación técnica de los dos sistemas de tratamiento

Conocidos los datos de operación tanto del sistema de evaporación como del sistema de ósmosis inversa se procede a comparar dichos sistemas desde el punto de vista técnico y de un análisis de costos, para tomar una decisión de sustituir o no el sistema de evaporación actual por el sistema de ósmosis inversa. A continuación se presenta la siguiente tabla (los puntajes fueron dados según lo establecido en la página 16 del marco teórico):

**Tabla 38: Comparación de los sistemas de evaporación y ósmosis inversa**

Análisis	Sistema de evaporación				Sistema de ósmosis inversa			
	NF	PF	F	MF	NF	PF	F	MF
<b>Valoración</b>								
<b>Criterios de factibilidad</b>								
<b>Criterios técnicos:</b>								
Re-arranque		1						3
Mantenimiento			2					3
Ampliaciones o modificaciones futuras	0							3
Calidad del agua obtenida				3			2	
Consumo energético				3			2	
<b>Sub-total</b>		9				13		
<b>Criterios basados en costos:</b>								
Costos de operación			2					3
Costos de adquisición del sistema propuesto	-	-	-	-			2	
Costos de mantenimiento			2				2	
<b>Sub-total</b>		4				7		
<b>Criterios ambientales:</b>								
Re-uso de efluentes tratados	0						2	
Composición físico-química de la purga		1				1		
<b>Sub-total</b>		1				3		
<b>Total</b>		14				23		

\* NF: No confiable. PF: Poco confiable. F: Factible. MF: Muy factible.

La puntuación lograda por el sistema de ósmosis inversa en la tabla 38, es considerada como muy factible, por lo cual la ejecución de un sistema de ósmosis inversa para el tratamiento del agua de compensación del ciclo térmico no acarrearía ningún problema con el ciclo térmico, esto según las consideraciones técnicas planteadas en el Acápite del marco teórico.

### VII. Conclusiones

El análisis de los parámetros de operación (temperatura y presión) de los equipos: desaireador y evaporador; del sistema de evaporación, dio como resultado que el sistema de evaporación opera en condiciones estables, es decir, opera en rangos de temperatura y presión sostenidos según la potencia de generación del ciclo térmico, y el promedio de recuperación del agua que alimenta al evaporador es del 78.3 por ciento, del cual el 75.83 por ciento del vapor generado es utilizado para compensar las pérdidas del ciclo térmico, equivalente a 150 metros cúbicos de agua por día. Estos datos se ajustan al manual de operación de la empresa, por lo que se concluye que el sistema de evaporación para compensar las pérdidas del ciclo térmico es permisible.

El uso de un sistema de ósmosis inversa, el cual sustituiría al sistema de evaporación actual, no presentaría ninguna dificultad técnica con el ciclo térmico, tales como: calidad del agua de compensación y el mantenimiento de los equipos. Dicho sistema sería independiente del ciclo térmico, por no utilizar energía térmica.

Se concluye a partir de la comparación entre el sistema de evaporación y el sistema de ósmosis inversa, que el sistema de ósmosis inversa presenta mayores ventajas que el sistema de evaporación, las cuales se mencionan: ningún tipo de dependencia del ciclo térmico (eliminándose el inconveniente presentado por el sistema de evaporación en su arranque), el mantenimiento de los equipos no es complicado y su facilidad de ampliación es relativamente sencilla.

## VIII. Nomenclatura

## 8.1 Nomenclatura del sistema de evaporación

L: Corriente de agua cruda

G: Corriente de vapor

X: Concentración salina

H: Entalpía

$L_1$ : Corriente de agua blanda en la salida de la zeolita

$L_3$ : Corriente de agua blanda desgasificada en la salida del desgasificador

$L_5$ : Corriente de agua condensada de los serpentines del evaporador

$L_6$ : Corriente de agua purgada del evaporador

$G_2$ : Corriente de vapor desviado al desgasificador

$G_4$ : Corriente de vapor extraído de la segunda extracción de la turbina

$G_7$ : Corriente de vapor generador por el evaporador

$G_8$ : Corriente de vapor hacia el desgasificador del tanque de alimentación de la caldera

$X_{Cl}^{L_1}$ : Concentración de cloruro en la corriente de agua blanda en la salida de la zeolita

$X_{Cl}^{L_3}$ : Concentración de cloruro en la corriente de agua blanda desgasificada en la salida del desgasificador

$X_{Cl}^{L_6}$ : Concentración de cloruro en la corriente de agua purgada del evaporador

$H_{L_1}$ : Entalpía de la corriente de agua blanda en la salida de la zeolita

$H_{L_3}$ : Entalpía de la corriente de agua blanda desgasificada en la salida del desgasificador

$H_{L_5}$ : Entalpía de la corriente de agua condensada de los serpentines del evaporador

$H_{L_6}$ : Entalpía de la corriente de agua purgada del evaporador

$H_{G_2}$ : Entalpía de la corriente de vapor desviado al desgasificador

$H_{G_4}$ : Entalpía de la corriente de vapor extraído de la segunda extracción de la turbina

$H_{G_7}$ : Entalpía de la corriente de vapor generador por el evaporador

$H_{G_8}$ : Entalpía de la corriente de vapor hacia el desgasificador del tanque de alimentación de la caldera

8.2 Nomenclatura para el diseño del sistema de ósmosis inversa

$TCF$ : Factor de corrección de temperatura para membranas de ósmosis inversa

$\bar{Y}_i$ : Promedio de recuperación por elemento

$\pi_f$ : Presión osmótica del agua de alimentación

$\pi_{p_i}$ : Promedio presión osmótica lado permeado

$\frac{C_{ci}}{C_{fi}}$ : Razón: Concentrado en la concentración de la alimentación para el Elemento i

$\frac{C_{fci}}{C_{fi}}$ : Razón: Promedio aritmético lado concentrado en la concentración de la alimentación para el Elemento i

$\rho_{fi}$ : Factor de polarización, para Elementos FILMTEC de 8-pulgadas

$\bar{\pi}_i$ : Promedio de presión osmótica lado concentrado

$q_{fc}$ : Promedio aritmético velocidad de flujo lado concentrado

$\Delta P_{fci}$ : Individual elemento FILMTEC de 8 pulgadas, o caída de presión lado concentrado simple etapa

$\bar{\rho}_{fi}$ : Promedio factor polarización

$Y_L$ : Limite de recuperación del sistema

$\frac{C_{fci}}{C_{fi}}$ : Razón: Promedio lado concentrado en la concentración de la alimentación del sistema

$\bar{\pi}$ : Promedio de presión osmótica lado concentrado

$\bar{A}(\bar{\pi})$ : Permeabilidad de membrana FILMTEC como una función del promedio de la presión osmótica lado concentrado

$Q_i$ : Flujo de permeado

$Y$ : Recuperación del sistema

$C_{p_i}$  Concentración del perneado

VPC: Valor presente de los costos

CO: Costos de operación

TMAR: Tasa mínima aceptable de rendimiento

VS: Valor de salvamento

CAEU: Costo anual uniforme aceptable

P: Inversión

### IX. Bibliografía

1. Baca Urbina Gabriel. 1998. Evaluación de proyectos. Editorial McGraw-Hill. Tercera edición. Mexico.
2. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Universidad de Zaragoza. 2002. La desalación y reutilización como recursos alternativos. Documentación administrativa del Gobierno de Aragón. España.
3. Decreto número 33-95: Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. 1995. La Gaceta. Nicaragua.
4. Matemática financiera. Curso de graduación sobre Formulación y evaluación de proyectos. Facultad de electrotécnica y computación. Módulo III. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
5. Datos de corrida de la unidad III GECSA. GECSA. 1972.
6. Estudio de impacto ambiental en GECSA. GECSA. 2000.
7. Estudio y evaluación de impacto ambiental en urbanizaciones y asentamientos humanos. 2001. Diplomado en formulación, evaluación y administración de proyectos. Módulo IV. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
8. Folleto de CEK de Centroamérica.
9. Ley número 185, Código del trabajo. 1996. La Gaceta. Nicaragua.
10. Ulises Helmut Morales Navarro. 2002. Propuesta de un sistema de tratamiento para aguas residuales, generadas en el Ingenio Monte Rosa, S.A. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
11. Kern D. Donald. 1995. Procesos de transferencia de calor. Edición cubana.
12. Manrique José y Cárdenas Rafael. 1981. Termodinámica. Editorial Harla. México.
13. Manual de la Central Termoeléctrica Managua. Generadora Eléctrica Central, S.A.
14. Perry Robert H., Green W. Don, Maloney O. James. 1999. Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill Editorial. Seventh edition. USA.
15. Rodríguez, Jorge A. Introducción a la Termodinámica, con algunas aplicaciones a la ingeniería. Universidad Tecnológica Nacional. Edición electrónica. Argentina.
16. Sonntag Richard E. y Van Wylen Gordón J. 1991. Fundamentos de Termodinámica. Editorial Limusa. Decimosexta reimpresión. México.

**IX. Bibliografía (continuación)**

17. The Dow Chemical Company. 2005.
18. Zarza Moya Eduardo. 1998. Desalación. Encuentro Medioambiental Almeriense: En busca de soluciones. España.
19. Zaror Zaror Claudio. 2000. Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. Universidad de Concepción. Edición electrónica. Chile.

**X. Anexo**

10.1 Sistema de evaporación

- A. Datos de operación agosto del 2005.
- B. Calidad del agua cruda agosto del 2005.
- C. Análisis de parámetros agosto del 2005.
- D. Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA.
- E. Análisis estadístico de los datos de operación.
- F. Promedio de recuperación del agua que se alimenta al evaporador.
- G. Fotos del sistema de evaporación.

10.2 Sistema de ósmosis inversa

- H. Formato para el análisis físico-químico del agua.
- I. Análisis de agua cruda para agua de compensación.
- J. Cotización del sistema de ósmosis inversa.
- K. Element Value Analysis.
- L. Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95)

## CONTENIDO DEL ANEXO

Contenido	Página
10.1 Sistema de evaporación	
A. Datos de operación agosto del 2005.....	I
B. Calidad del agua cruda agosto del 2005.....	III
C. Análisis de parámetros agosto del 2005.....	IV
D. Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA.....	XXIV
E. Análisis estadístico de los datos de operación.....	XLIV
F. Promedio de recuperación del agua que se alimenta al evaporador.....	LXVIII
G. Fotos del sistema de evaporación.....	LXIX
10.2 Sistema de ósmosis inversa	
H. Formato para el análisis físico-químico del agua.....	LXXV
I. Análisis de agua cruda para agua de compensación.....	LXXVI
J. Cotización del sistema de ósmosis inversa.....	LXXVII
K. Element Value Analysis.....	LXXXIV
L. Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95) ...	LXXXVI

**Tabla A.1: Datos de operación 09/Agosto/2005**

Carga Mw	Hora	Filtro de arena	Desgasificador	Evaporador				Turbina			
		Presión	Presión desgasificador evap (bar g)	Evaporador, lado serpentín (bar g)	Evaporador, lado domo (bar g)	P vapor a desareador (bar g)	Agua a evaporador (m3)	Presión vapor salida caldera (bar g)	Temperatura vapor salida caldera (oC)	Temperatura vapor entrada turbina (oC)	Antes entrada valvula (bar g)
20	5	0.1	2.16	5	2.1	2.15	638	88.3	508	508	86
20	6	0.1	2.16	5	2.2	2.15	643	88.4	508	507	86
20	7	0.1	2.15	5	2.1	2	648	88.29	500	498	86
38	15	0.8	4.55	11	4.5	4.5	703	88	499	497	85
38	16	0.8	4.55	11	4.5	4.55	711	88	500	499	85
38	17	0.8	4.55	11	4.5	4.55	716	88	499	497	85

**Tabla A.2: Datos de operación 18/Agosto/2005**

Carga Mw	Hora	Filtro de arena	Desgasificador	Evaporador				Turbina			
		Presión	Presión desgasificador evap (bar g)	Evaporador, lado serpentín (bar g)	Evaporador, lado domo (bar g)	P vapor a desareador (bar g)	Agua a evaporador (m3)	Presión vapor salida caldera (bar g)	Temperatura vapor salida caldera (oC)	Temperatura vapor entrada turbina (oC)	Antes entrada valvula (bar g)
20	5	--	2	5	2	1.95	909	88.3	510	509	86
20	6	--	2	5	2	1.95	915	88.3	510	509	86
20	7	--	2	5	2	1.95	921	88.3	510	509	86
38	15	--	4.55	11	4.5	4.5	974	88.4	495	494	86
38	16	--	4.5	11	4.5	4.5	981	88.4	497	496	86
38	17	--	4.5	11	4.5	4.5	988	88.4	497	496	86

**Tabla A.3: Datos de operación 19/Agosto/2005**

Carga Mw	Hora	Filtro de arena	Desgasificador	Evaporador				Turbina			
		Presión	Presión desgasificador evap (bar g)	Evaporador, lado serpentín (bar g)	Evaporador, lado domo (bar g)	P vapor a desareador (bar g)	Agua a evaporador (m3)	Presión vapor salida caldera (bar g)	Temperatura vapor salida caldera (oC)	Temperatura vapor entrada turbina (oC)	Antes entrada valvula (bar g)
20	5	--	2	5.1	2.1	2	55	88.3	510	509	86
20	6	--	2	5.1	2.1	2	61	88.3	510	509	86
20	7	--	2	5.1	2.1	2	66	88.1	508	507	86
38	15	--	4.55	11	4.5	4.5	118	88.3	497	496	86
38	16	--	4.55	11	4.5	4.5	124	88.1	497	496	86
38	17	--	4.55	11	4.5	4.5	131	88.2	497	496	86

**Tabla A.4: Datos de operación 24/Agosto/2005**

Carga Mw	Hora	Filtro de arena	Desgasificador	Evaporador				Turbina			
		Presión	Presión desgasificador evap (bar g)	Evaporador, lado serpentín (bar g)	Evaporador, lado domo (bar g)	P vapor a desareador (bar g)	Agua a evaporador (m3)	Presión vapor salida caldera (bar g)	Temperatura vapor salida caldera (oC)	Temperatura vapor entrada turbina (oC)	Antes entrada valvula (bar g)
20	5	0.1	2	5.1	2.05	2	599	88.2	507	505	86
20	6	0.1	2	5.1	2.05	2	604	88.9	506	504	86
20	7	0.11	2	5.1	2.1	2	610	88.3	510	509	86
38	15	0.11	4.55	11	4.5	4.55	661	88	495	494	86
38	16	0.11	4.6	11	4.5	4.5	668	88.3	494	493	86
38	17	0.11	4.5	11	4.5	4.5	675	88.4	492	491	86

**Tabla A.5: Datos de operación 31/Agosto/2005**

Carga Mw	Hora	Filtro de arena	Desgasificador	Evaporador				Turbina			
		Presión	Presión desgasificador evap (bar g)	Evaporador, lado serpentín (bar g)	Evaporador, lado domo (bar g)	P vapor a desareador (bar g)	Agua a evaporador (m3)	Presión vapor salida caldera (bar g)	Temperatura vapor salida caldera (oC)	Temperatura vapor entrada turbina (oC)	Antes entrada valvula (bar g)
20	5	0.9	2.05	5.4	2.1	2.05	464	88.4	503	502	86
20	6	0.7	2.05	5.4	2.1	2.05	469	88.4	503	502	86
20	7	0.85	2	5.3	2.1	2	474	88.29	507	505	86
38	15	0.105	4.6	11.5	4.55	4.6	525	88.31	494	493	85
38	16	0.105	4.6	11.4	4.55	4.6	532	88.37	491	490	85
38	17	0.103	4.6	11.4	4.55	4.6	539	88.37	491	490	85

**Tabla B.1: Calidad del Agua 09/Agosto/2005**

Carga	Hora	Agua tratada		Vapor del evaporador			Agua evaporador				
		Dureza CaCO3 PPM	Cl PPM	PH	Cond MMHO	SiO2 PPM	Cond MMHO	Cl PPM	PO4 PPM	B Realing ml	SiO2 PPM
	800	0.5	48	4.75	12.51	6	1,900	160	2.1	18	224
	1830	0.5	49	4.77	12.6	24	1,810	170	4.4	24.2	151

**Tabla B.2: Calidad del Agua 18/Agosto/2005**

Carga	Hora	Agua tratada		Vapor del evaporador			Agua evaporador				
		Dureza CaCO3 PPM	Cl PPM	PH	Cond MMHO	SiO2 PPM	Cond MMHO	Cl PPM	PO4 PPM	B Realing ml	SiO2 PPM
	800	0.75	50	4.45	13.5	--	2,080	190	3.5	18	154
	1830	0.5	49	4.84	13.7	--	1,900	180	3.8	24	168

**Tabla B.3: Calidad del Agua 19/Agosto/2005**

Carga	Hora	Agua tratada		Vapor del evaporador			Agua evaporador				
		Dureza CaCO3 PPM	Cl PPM	PH	Cond MMHO	SiO2 PPM	Cond MMHO	Cl PPM	PO4 PPM	B Realing ml	SiO2 PPM
	800	0.5	50	4.97	13.5	--	2,020	190	6.5	19	175
	1800	0.5	49	4.95	13	--	1,720	185	2.7	24	168

**Tabla B.4: Calidad del Agua 24/Agosto/2005**

Carga	Hora	Agua tratada		Vapor del evaporador			Agua evaporador				
		Dureza CaCO3 PPM	Cl PPM	PH	Cond MMHO	SiO2 PPM	Cond MMHO	Cl PPM	PO4 PPM	B Realing ml	SiO2 PPM
	800	0.5	44	4.63	11.67	--	2,210	170	2.1	23	123
	1830	0.5	46	4.9	13.1	--	1,950	180	2.8	26	154

**Tabla B.5: Calidad del Agua 31/Agosto/2005**

Carga	Hora	Agua tratada		Vapor del evaporador			Agua evaporador				
		Dureza CaCO3 PPM	Cl PPM	PH	Cond MMHO	SiO2 PPM	Cond MMHO	Cl PPM	PO4 PPM	B Realing ml	SiO2 PPM
	800	0.55	48	4.94	11.9	--	2,180	200	--	24	100
	1830	0.5	48	4.95	13	--	2,100	200	--	23.5	--

**Tabla C.1: Análisis de parámetros 09/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 5**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	317.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	569.4390
Temperatura (K)	408.5000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Temperatura (K)	408.4000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	568.9818
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	160.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	601.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,731.0428
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	670.9412
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,053.7155
<b>L<sub>3</sub></b>	6,038.7604
<b>L<sub>6</sub></b>	1,495.5135
<b>G<sub>8</sub></b>	3,489.5314
<b>G<sub>7</sub></b>	4,543.2469
<b>G<sub>4</sub></b>	4,759.2434
X <sub>Cl</sub> <sup>L3</sup>	39.6244

**TablaC.2: Análisis de parámetros 09/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 6**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	317.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	569.4390
Temperatura (K)	408.5000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Temperatura (K)	408.4000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	568.9818
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	160.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	601.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,729.8616
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	670.9412
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	316.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,727.6331
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,053.7155
<b>L<sub>3</sub></b>	6,038.7604
<b>L<sub>6</sub></b>	1,495.5135
<b>G<sub>8</sub></b>	3,489.5314
<b>G<sub>7</sub></b>	4,543.2469
<b>G<sub>4</sub></b>	4,761.9739
<b>X<sub>Cl</sub><sup>L3</sup></b>	39.6244

**Tabla C.3: Análisis de parámetros 09/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 15**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	8.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	7,976.0718
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,761.0031
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	170.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,383.0128
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	2,062.9508
<b>L<sub>3</sub></b>	10,039.0225
<b>L<sub>6</sub></b>	2,298.9854
<b>G<sub>8</sub></b>	5,677.0864
<b>G<sub>7</sub></b>	7,740.0371
<b>G<sub>4</sub></b>	6,274.3927
<b>X<sub>Cl</sub><sup>L3</sup></b>	38.9308

**Tabla C.4: Análisis de parámetros 09/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 16**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Temperatura (K)	429.0000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	170.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,388.3126
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,294.1008
<b>L<sub>3</sub></b>	6,279.1457
<b>L<sub>6</sub></b>	1,436.8659
<b>G<sub>8</sub></b>	3,548.1790
<b>G<sub>7</sub></b>	4,842.2798
<b>G<sub>4</sub></b>	3,914.8734
X <sub>Cl</sub> <sup>L3</sup>	38.9013

**Tabla C.5: Análisis de parámetros 18/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 5**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	6.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	5,982.0538
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	50.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Temperatura (K)	406.0000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	559.6065
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	190.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	601.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,732.2241
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	670.9412
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,241.6612
<b>L<sub>3</sub></b>	7,223.7150
<b>L<sub>6</sub></b>	1,574.2247
<b>G<sub>8</sub></b>	4,407.8291
<b>G<sub>7</sub></b>	5,649.4903
<b>G<sub>4</sub></b>	5,925.1896
<b>X<sub>Cl</sub><sup>L3</sup></b>	41.4057

**Tabla C.6: Análisis de parámetros 18/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 6**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	6.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	5,982.0538
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	50.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Temperatura (K)	406.0000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	559.6065
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	190.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	601.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,732.2241
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	670.9412
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	296.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,724.7002
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,241.6612
<b>L<sub>3</sub></b>	7,223.7150
<b>L<sub>6</sub></b>	1,574.2247
<b>G<sub>8</sub></b>	4,407.8291
<b>G<sub>7</sub></b>	5,649.4903
<b>G<sub>4</sub></b>	5,925.1896
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	41.4057

**Tabla C.7: Análisis de parámetros 18/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 15**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	180.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,373.7932
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,812.0913
<b>L<sub>3</sub></b>	8,791.1541
<b>L<sub>6</sub></b>	1,899.8560
<b>G<sub>8</sub></b>	5,079.2068
<b>G<sub>7</sub></b>	6,891.2981
<b>G<sub>4</sub></b>	5,600.6376
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.8998

**Tabla C.8: Análisis de parámetros 18/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 16**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	551.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Temperatura (K)	428.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>6</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	180.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,379.1097
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,805.7339
<b>L<sub>3</sub></b>	8,784.7967
<b>L<sub>6</sub></b>	1,899.8560
<b>G<sub>8</sub></b>	5,079.2068
<b>G<sub>7</sub></b>	6,884.9407
<b>G<sub>4</sub></b>	5,589.1112
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.9279

**Tabla C.9: Análisis de parámetros 19/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 5**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	6.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	5,982.0538
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	50.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Temperatura (K)	406.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	190.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	611.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,735.1061
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	673.6072
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

Notación	Flujo (Kg/h)
<b>G<sub>2</sub></b>	1,241.2004
<b>L<sub>3</sub></b>	7,223.2542
<b>L<sub>6</sub></b>	1,574.2247
<b>G<sub>8</sub></b>	4,407.8291
<b>G<sub>7</sub></b>	5,649.0295
<b>G<sub>4</sub></b>	5,928.2078
X <sub>Cl</sub> <sup>L3</sup>	41.4083

**Tabla C.10: Análisis de parámetros 19/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 6**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	50.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Temperatura (K)	406.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	190.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	611.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,735.1061
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	673.6072
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,034.3337
<b>L<sub>3</sub></b>	6,019.3785
<b>L<sub>6</sub></b>	1,311.8539
<b>G<sub>8</sub></b>	3,673.1910
<b>G<sub>7</sub></b>	4,707.5246
<b>G<sub>4</sub></b>	4,940.1731
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	41.4083

**Tabla C.11: Análisis de parámetros 19/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 15**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	6.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	5,982.0538
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	185.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,379.1097
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,553.2211
<b>L<sub>3</sub></b>	7,535.2750
<b>L<sub>6</sub></b>	1,584.4359
<b>G<sub>8</sub></b>	4,397.6180
<b>G<sub>7</sub></b>	5,950.8391
<b>G<sub>4</sub></b>	4,826.3953
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.8998

**Tabla C.12: Análisis de parámetros 19/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 16**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	49.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	655.8287
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	185.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,379.1097
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,812.0913
<b>L<sub>3</sub></b>	8,791.1541
<b>L<sub>6</sub></b>	1,848.5085
<b>G<sub>8</sub></b>	5,130.5543
<b>G<sub>7</sub></b>	6,942.6456
<b>G<sub>4</sub></b>	5,630.7945
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.8998

**Tabla C.13: Análisis de parámetros 24/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 5**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	44.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Temperatura (K)	406.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	170.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	611.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,730.3745
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	673.6072
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,034.3337
<b>L<sub>3</sub></b>	6,019.3785
<b>L<sub>6</sub></b>	1,290.2469
<b>G<sub>8</sub></b>	3,694.7980
<b>G<sub>7</sub></b>	4,729.1316
<b>G<sub>4</sub></b>	4,974.2650
<b>X<sub>Cl</sub><sup>L3</sup></b>	36.4393

**Tabla C.14: Análisis de parámetros 24/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 6**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	6.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	5,982.0538
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	44.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	301.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Temperatura (K)	406.6000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Temperatura (K)	406.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.1238
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	170.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	611.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,729.1916
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	673.6072
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	301.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.5031
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,241.2004
<b>L<sub>3</sub></b>	7,223.2542
<b>L<sub>6</sub></b>	1,548.2963
<b>G<sub>8</sub></b>	4,433.7576
<b>G<sub>7</sub></b>	5,674.9580
<b>G<sub>4</sub></b>	5,972.5530
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	36.4393

**Tabla C.15: Análisis de parámetros 24/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 15**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	46.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	556.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Temperatura (K)	429.0000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	657.3452
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	180.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,373.7932
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	556.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,753.2708
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,811.7412
<b>L<sub>3</sub></b>	8,790.8040
<b>L<sub>6</sub></b>	1,783.5383
<b>G<sub>8</sub></b>	5,195.5245
<b>G<sub>7</sub></b>	7,007.2657
<b>G<sub>4</sub></b>	5,697.1231
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	36.5196

**Tabla C.16: Análisis de parámetros 24/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 16**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	46.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	561.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	658.8617
Temperatura (K)	429.0000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Temperatura (K)	428.6000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	624.6313
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	180.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,201.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,371.1350
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	795.8767
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	551.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,752.8658
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

Notación	Flujo (Kg/h)
G <sub>2</sub>	1,818.4580
L <sub>3</sub>	8,797.5208
L <sub>6</sub>	1,783.5383
G <sub>8</sub>	5,195.5245
G <sub>7</sub>	7,013.9825
G <sub>4</sub>	5,679.5301
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	36.4917

**Tabla C.17: Análisis de parámetros 31/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 5**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	306.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.9399
Temperatura (K)	407.2000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Temperatura (K)	407.2000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.9399
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	200.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	641.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,735.4737
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	681.6052
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,036.4838
<b>L<sub>3</sub></b>	6,021.5286
<b>L<sub>6</sub></b>	1,196.4108
<b>G<sub>8</sub></b>	3,788.6341
<b>G<sub>7</sub></b>	4,825.1179
<b>G<sub>4</sub></b>	5,081.0678
<b>X<sub>Cl</sub><sup>L<sub>3</sub></sup></b>	39.7378

**Tabla C.18: Análisis de parámetros 31/agosto/2005  
Carga 20 MW**

**Hora 6**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	5.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	4,985.0449
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	306.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	562.9399
Temperatura (K)	407.2000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Temperatura (K)	407.2000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	562.9399
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	160.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	641.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	2,735.4737
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	681.6052
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	306.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,725.7565
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,036.4838
<b>L<sub>3</sub></b>	6,021.5286
<b>L<sub>6</sub></b>	1,495.5135
<b>G<sub>8</sub></b>	3,489.5314
<b>G<sub>7</sub></b>	4,526.0152
<b>G<sub>4</sub></b>	4,766.0991
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	39.7378

**Tabla C.19: Análisis de parámetros 31/agosto/2005  
Carga 38 MW**

**Hora 15**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	561.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	658.8617
Temperatura (K)	429.4000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Temperatura (K)	429.4000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	658.8617
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	200.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,251.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,372.4131
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	804.0847
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,817.7548
<b>L<sub>3</sub></b>	8,796.8176
<b>L<sub>6</sub></b>	1,674.9751
<b>G<sub>8</sub></b>	5,304.0877
<b>G<sub>7</sub></b>	7,121.8426
<b>G<sub>4</sub></b>	5,808.8118
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.0814

**Tabla C.20: Análisis de parámetros 31/agosto/2005  
Carga 38 MW**

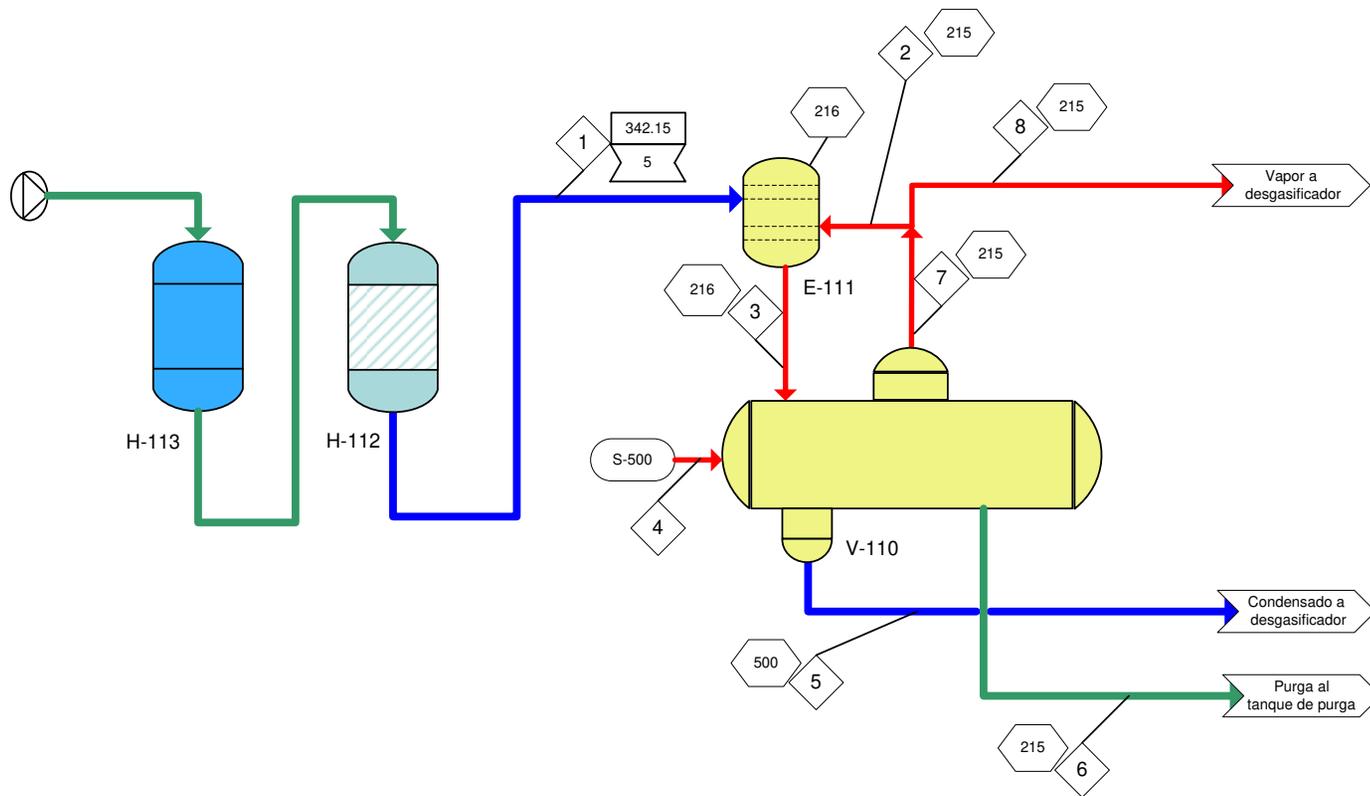
**Hora 16**

<b>Corriente L<sub>1</sub></b>	
Temperatura (K)	300.1500
Volumen específico (m <sup>3</sup> /Kg)	0.0010
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	997.0090
Volumen de agua blanda (m <sup>3</sup> /h)	7.0000
Flujo L <sub>1</sub> (Kg/h)	6,979.0628
Entalpía H <sub>L1</sub> (Kj/Kg)	113.2500
Concentración Cloruro en L <sub>1</sub> (ppm)	48.0000
<b>Corriente G<sub>2</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía G <sub>2</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Flujo G <sub>2</sub> (Kg/h)	G <sub>2</sub>
<b>Corriente L<sub>3</sub></b>	
Presión del desareador (KPa abs)	561.4300
Flujo L <sub>3</sub> (Kg/h)	L <sub>3</sub>
Entalpía H <sub>L3</sub> (Kj/Kg)	658.8617
Temperatura (K)	429.4000
<b>Corriente G<sub>7</sub> y L<sub>6</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía del vapor H <sub>G7</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Temperatura (K)	429.4000
Flujo del vapor G <sub>7</sub> (Kg/h)	G <sub>7</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L6</sub> (Kj/Kg)	658.8617
Flujo del condensado L <sub>6</sub> (Kg/h)	L <sub>6</sub>
Concentración Cloruro en L <sub>6</sub> (ppm)	200.0000
<b>Corriente G<sub>4</sub> y L<sub>5</sub></b>	
Presión en serpentines (KPa abs)	1,241.4300
Entalpía del vapor de calentamiento H <sub>G4</sub> (Kj/Kg)	3,364.4634
Temperatura (K)	431.9000
Flujo del vapor de calentamiento G <sub>4</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
Entalpía del condensado H <sub>L5</sub> (Kj/Kg)	802.4431
Flujo del condensado L <sub>5</sub> (Kg/h)	G <sub>4</sub>
<b>Corriente G<sub>8</sub></b>	
Presión del vapor obtenido (KPa abs)	561.4300
Entalpía del vapor H <sub>G8</sub> (Kj/Kg)	2,753.6758
Flujo del vapor G <sub>8</sub> (Kg/h)	G <sub>8</sub>

**Resultados**

<b>Notación</b>	<b>Flujo (Kg/h)</b>
<b>G<sub>2</sub></b>	1,817.7548
<b>L<sub>3</sub></b>	8,796.8176
<b>L<sub>6</sub></b>	1,674.9751
<b>G<sub>8</sub></b>	5,304.0877
<b>G<sub>7</sub></b>	7,121.8426
<b>G<sub>4</sub></b>	5,823.1142
X <sub>Cl</sub> <sup>L<sub>3</sub></sup>	38.0814

# Figura D.1: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

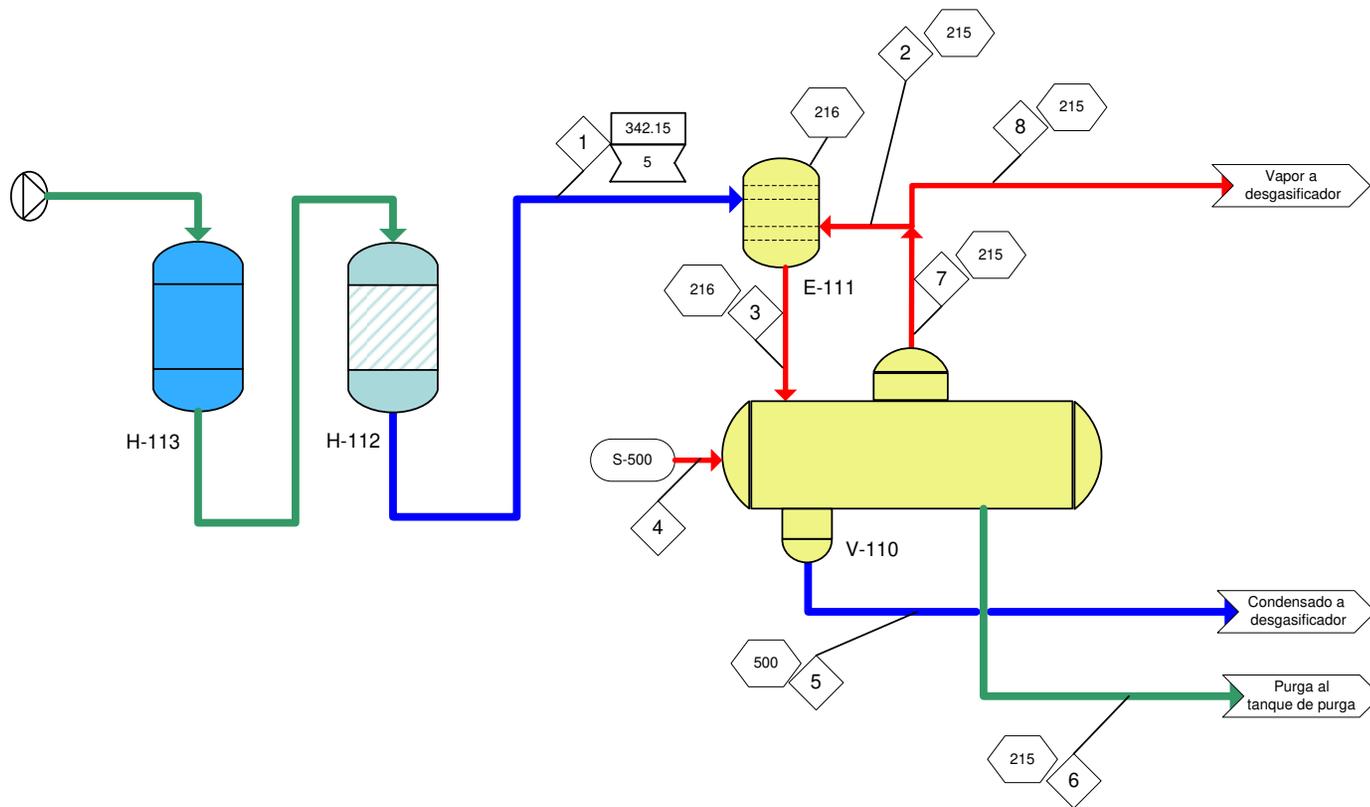
Notación	
◇	Punto de balance de materia
□	Temperatura (°K)
⬡	Presión (Kpa manométrica)
▭	Flujo de liquido (m³/h)
○	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 09/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 5								
Corriente (Kg/h)	◇1	◇2	◇3	◇4	◇5	◇6	◇7	◇8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,038.76	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,543.25	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,053.72	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,495.51	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,489.53
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,759.24	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,759.24	---	---	---

# Figura D.2: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



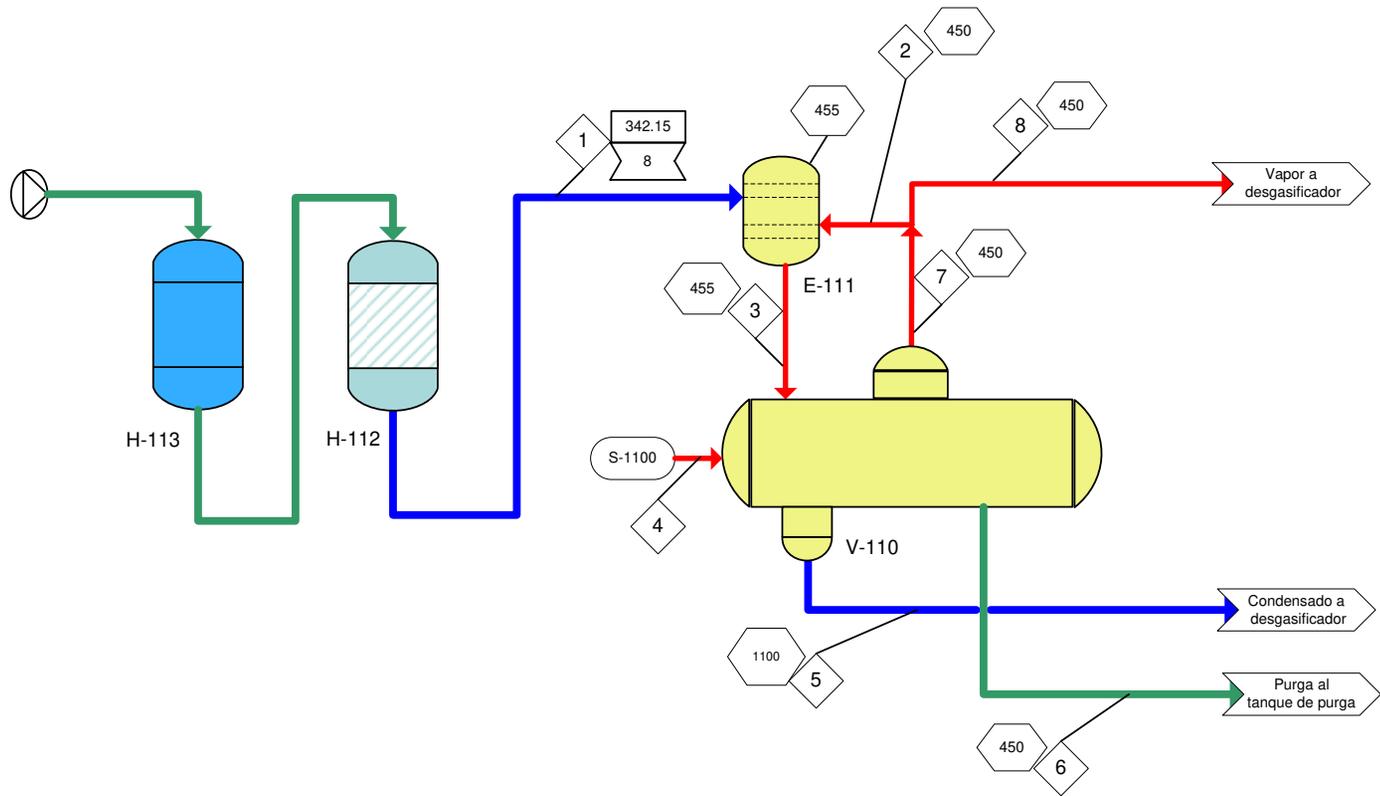
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
◇	Punto de balance de materia
□	Temperatura (°K)
⬡	Presión (Kpa manométrica)
▭	Flujo de liquido (m³/h)
○	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
— (green)	Agua cruda
— (red)	Vapor
— (blue)	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 09/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 6								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,038.76	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,543.25	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,053.72	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,495.51	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,489.53
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,761.97	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,761.97	---	---	---

# Figura D.3: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



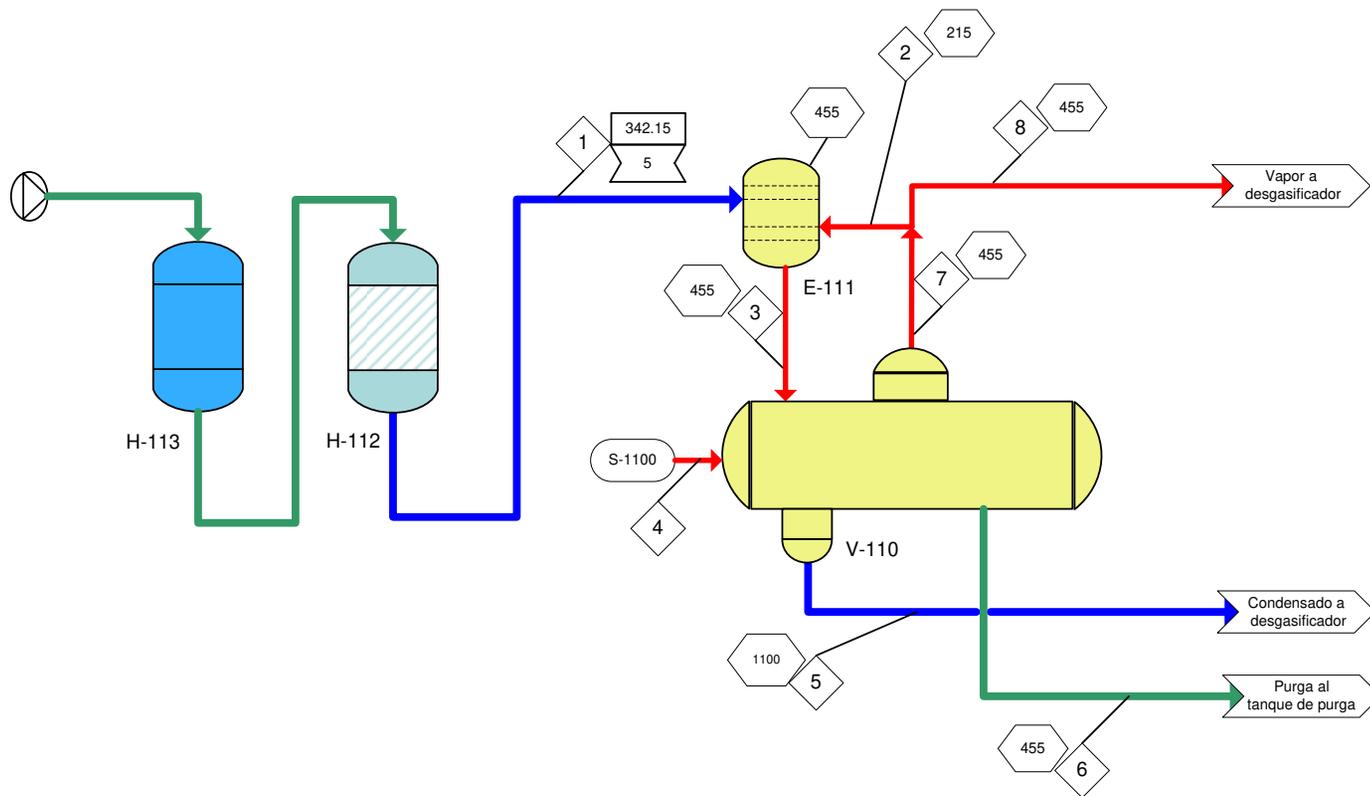
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 09/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 15								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	7,976.07	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	10,039.02	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	7,740.04	---
Vapor desviado al desgasificador	---	2,062.95	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	2,298.99	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,677.09
Vapor de calentamiento	---	---	---	6,274.39	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	6,274.39	---	---	---

# Figura D.4: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

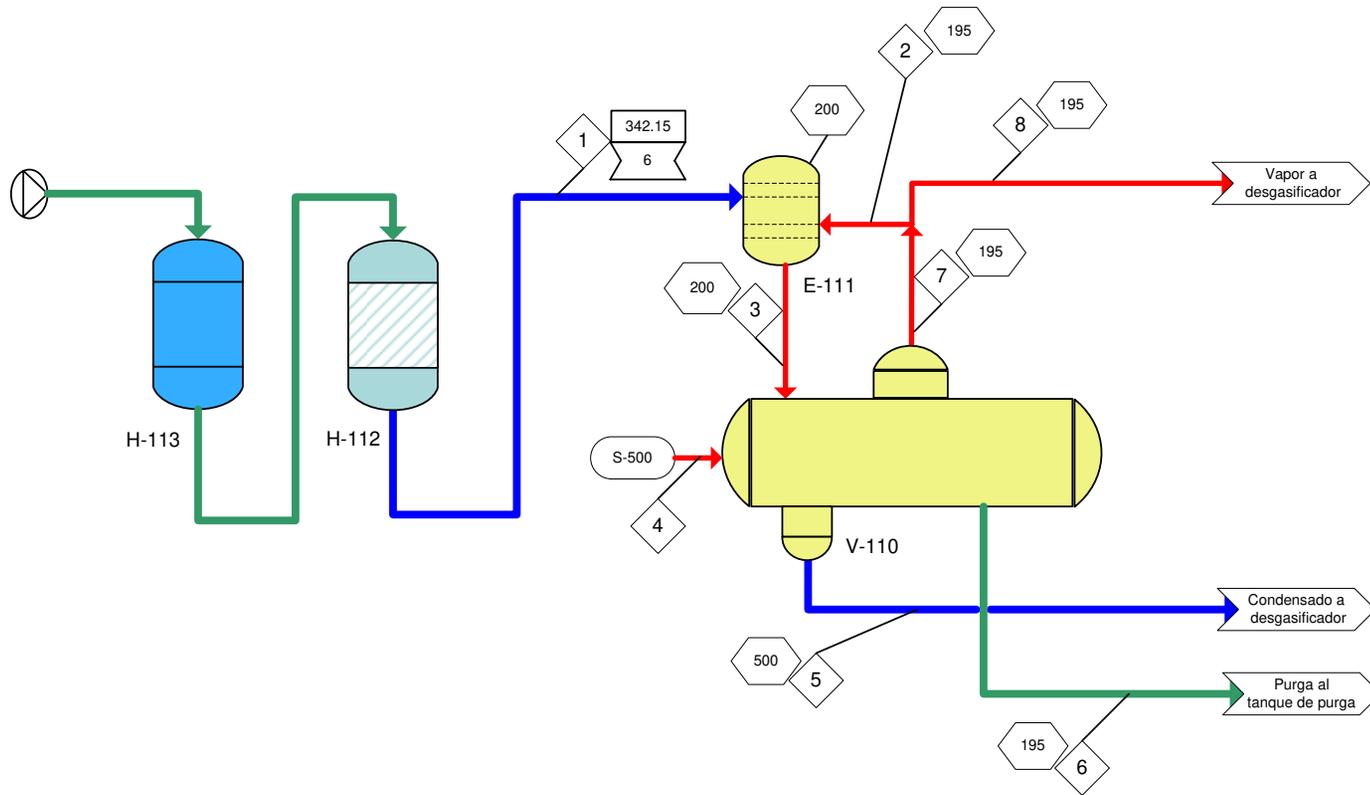
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 09/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 16								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,279.15	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,842.28	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,294.10	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,436.87	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,548.18
Vapor de calentamiento	---	---	---	3,914.87	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	3,914.87	---	---	---

# Figura D.5: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

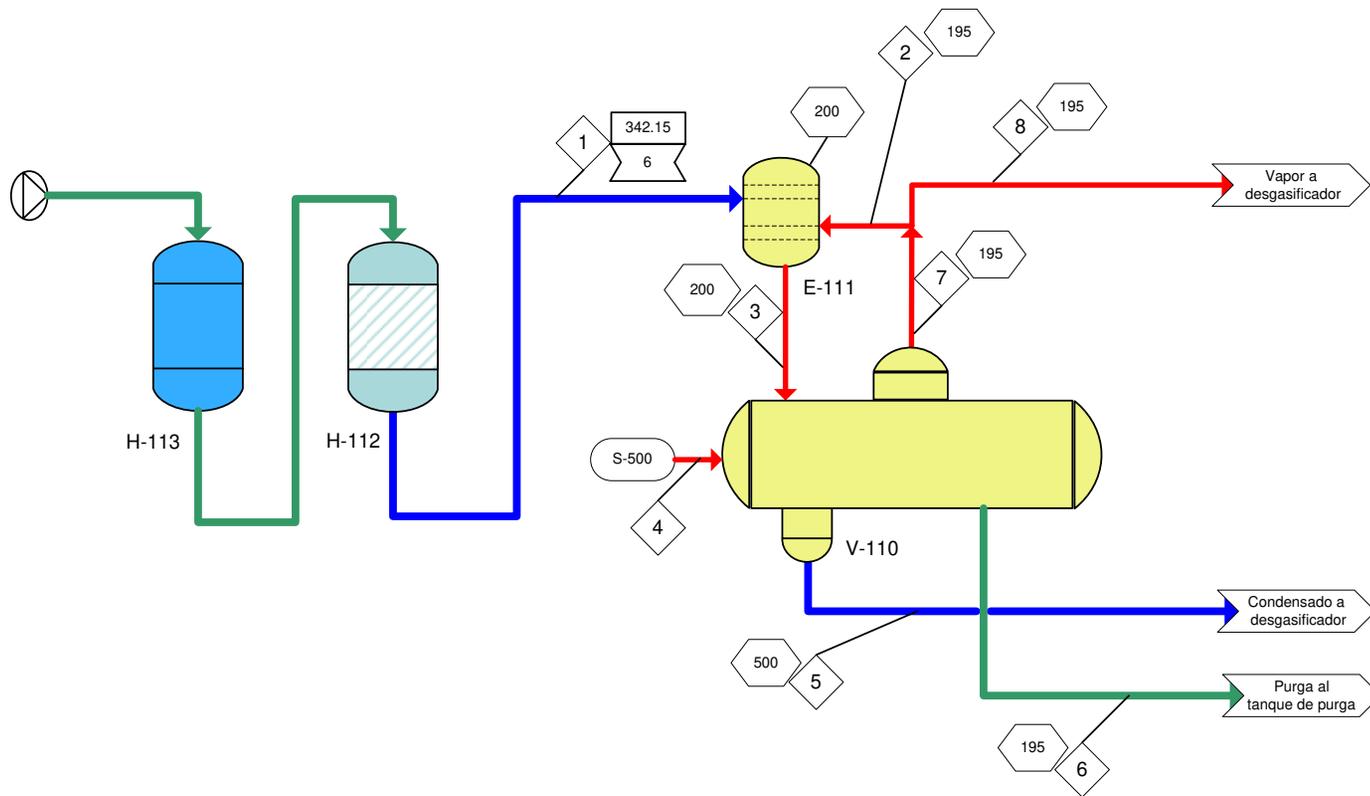
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 18/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 5								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	5,982.05	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	7,223.72	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	5,649.49	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,241.66	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,574.22	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	4,407.83
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,925.19	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,925.19	---	---	---

# Figura D.6: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



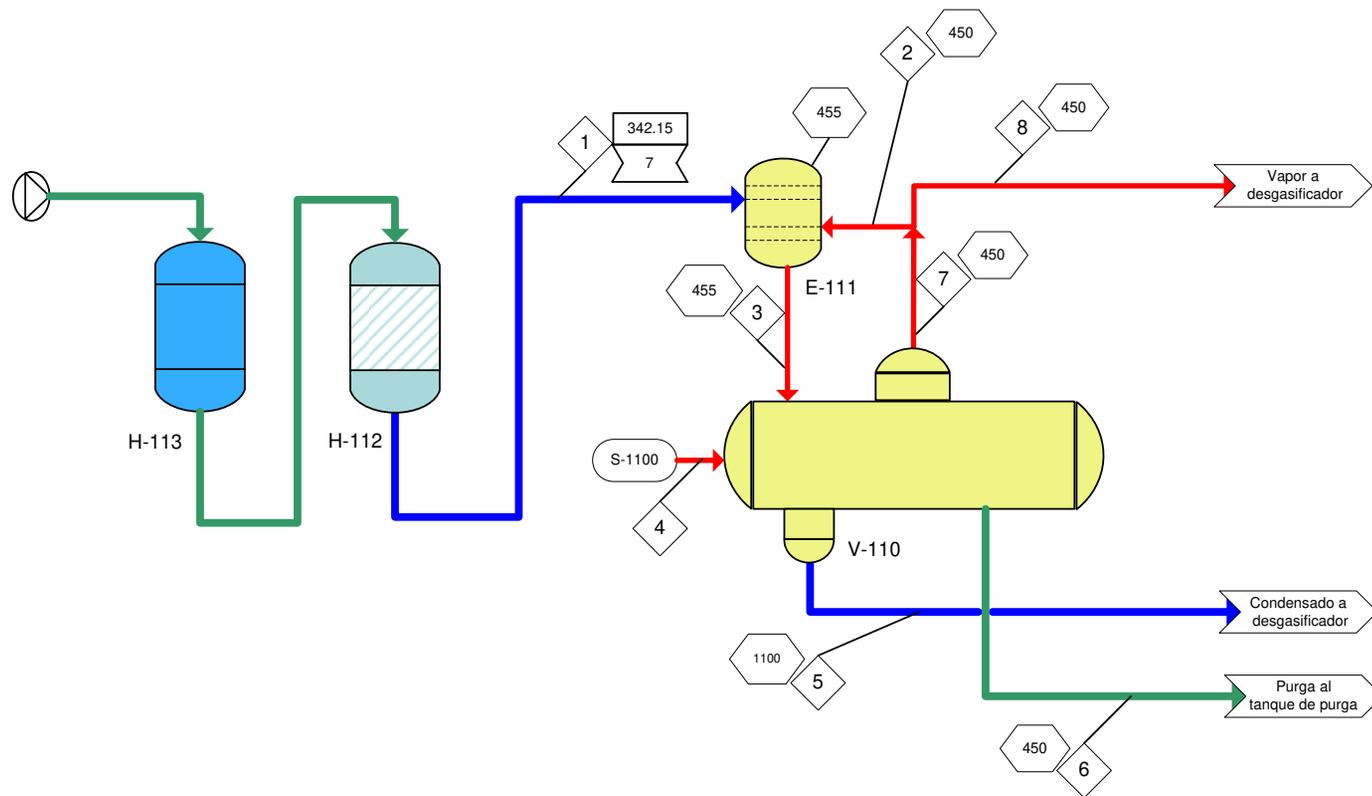
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 18/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 6								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	5,982.05	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	7,223.72	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	5,649.49	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,241.66	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,574.22	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	4,407.83
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,925.19	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,925.19	---	---	---

# Figura D.7: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

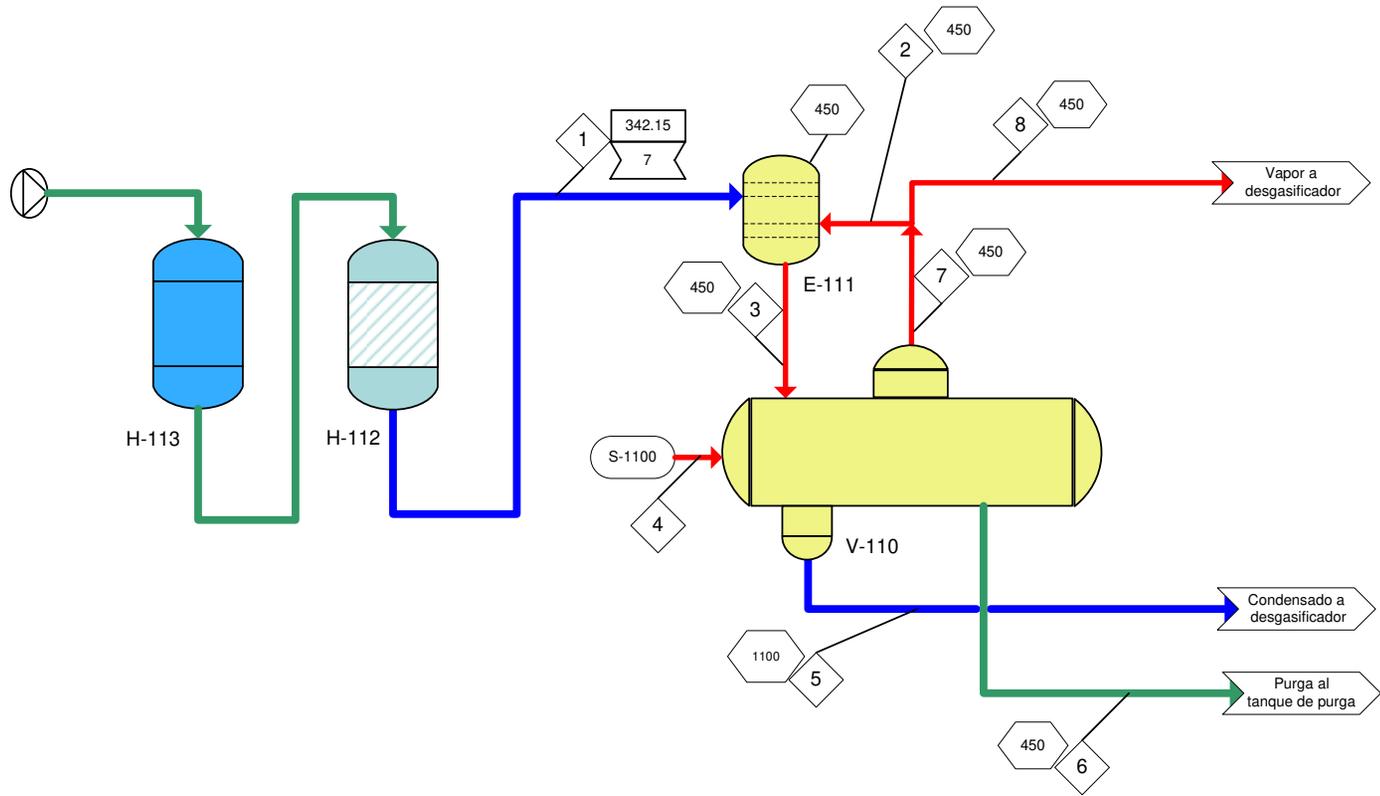
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Leyenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 18/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 15								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,791.15	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	6,891.30	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,812.09	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,899.86	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,079.21
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,600.64	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,600.64	---	---	---

# Figura D.8: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



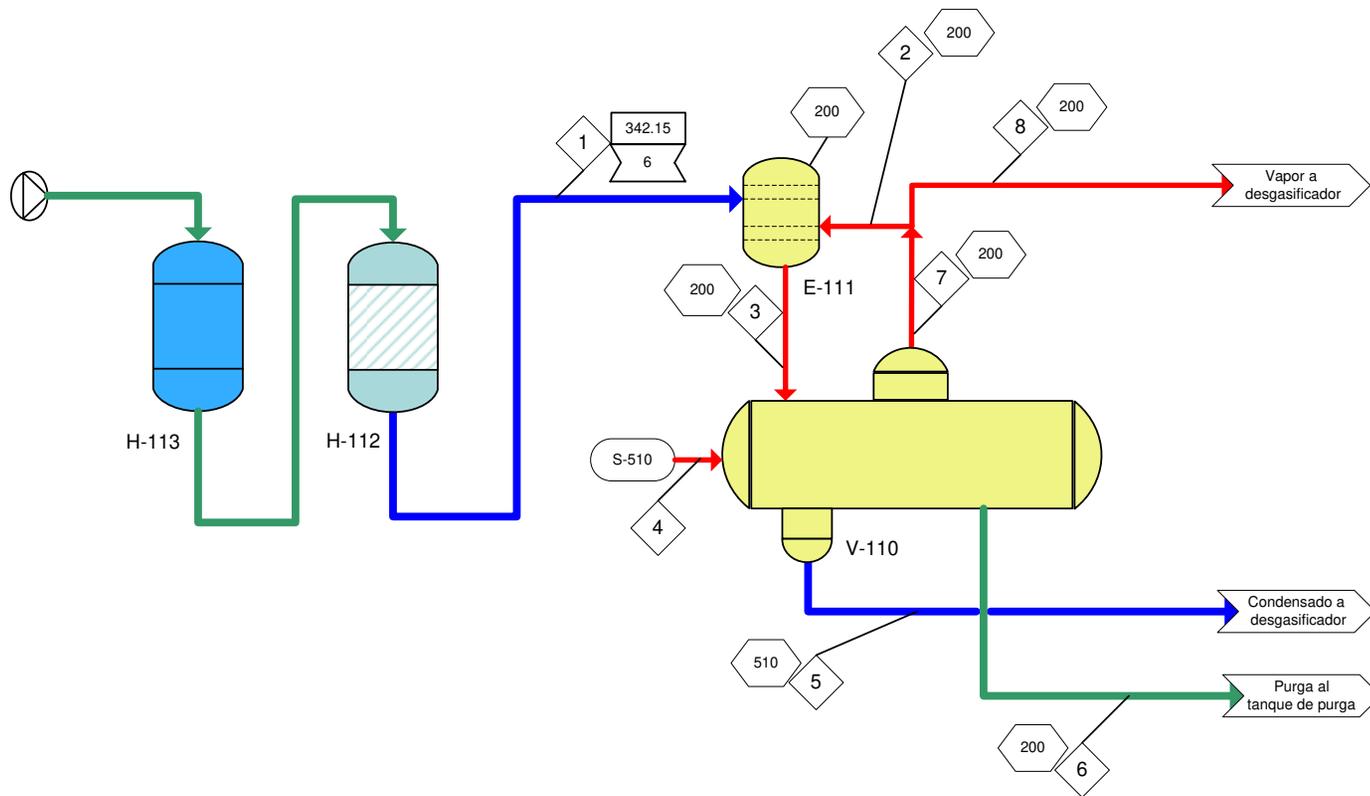
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
◇	Punto de balance de materia
□	Temperatura (°K)
⬡	Presión (Kpa manométrica)
▭	Flujo de liquido (m³/h)
○	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
— (Green)	Agua cruda
— (Red)	Vapor
— (Blue)	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 18/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 16								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,784.80	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	6,884.94	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,805.73	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,899.86	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,079.21
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,589.11	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,589.11	---	---	---

# Figura D.9: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



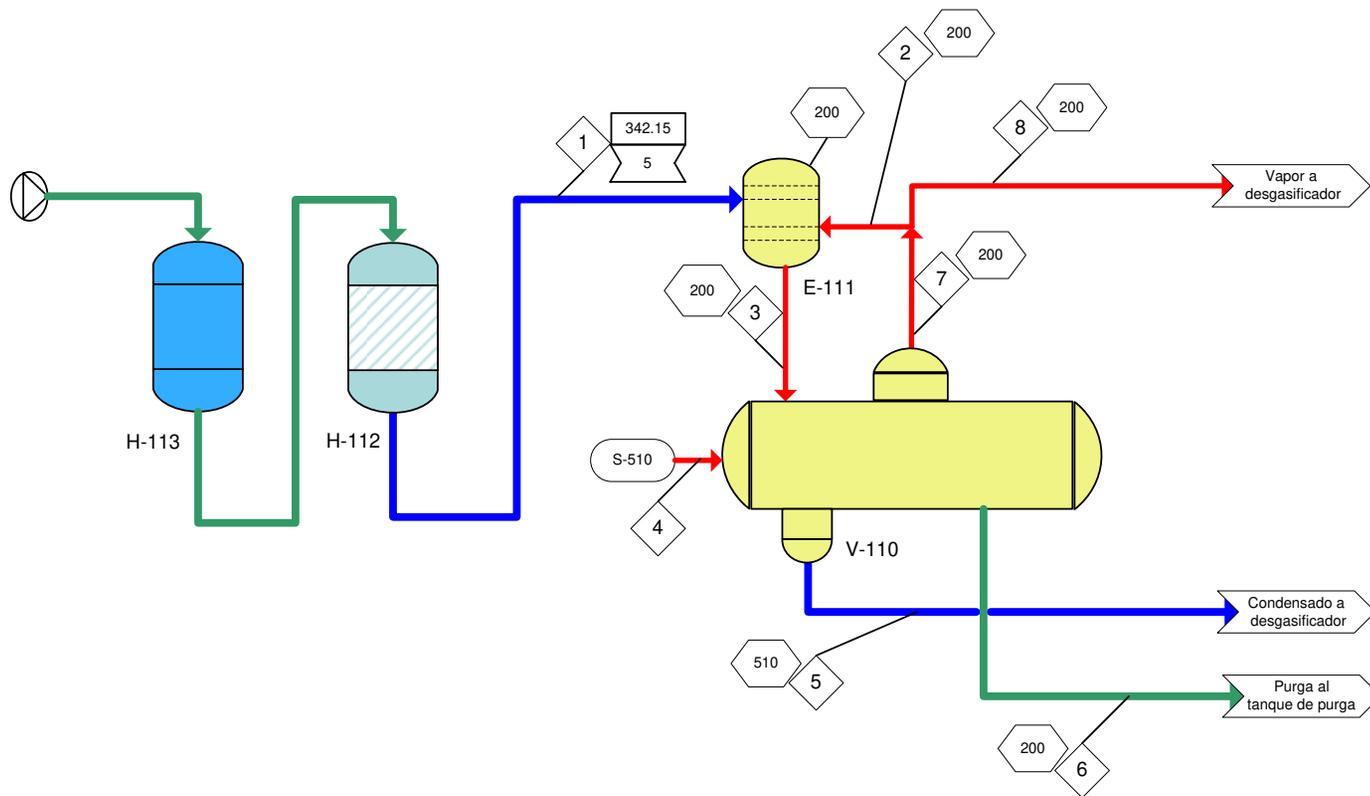
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 19/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 5								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	5,982.05	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	7,223.25	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	5,649.03	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,241.20	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,574.22	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	4,407.83
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,928.21	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,928.21	---	---	---

# Figura D.10: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

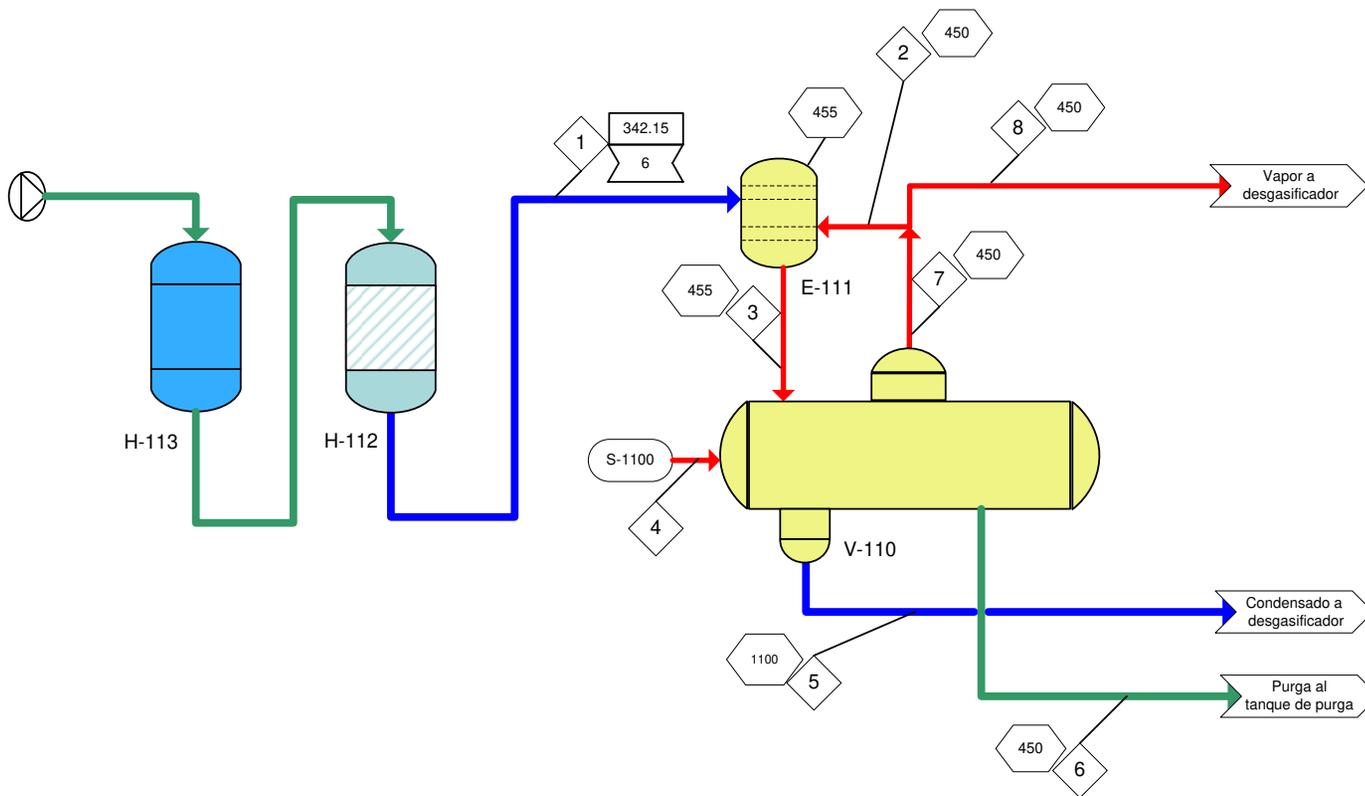
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Leyenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 19/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 6								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,019.38	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,707.52	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,034.33	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,311.85	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,673.19
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,940.17	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,940.17	---	---	---

# Figura D.11: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

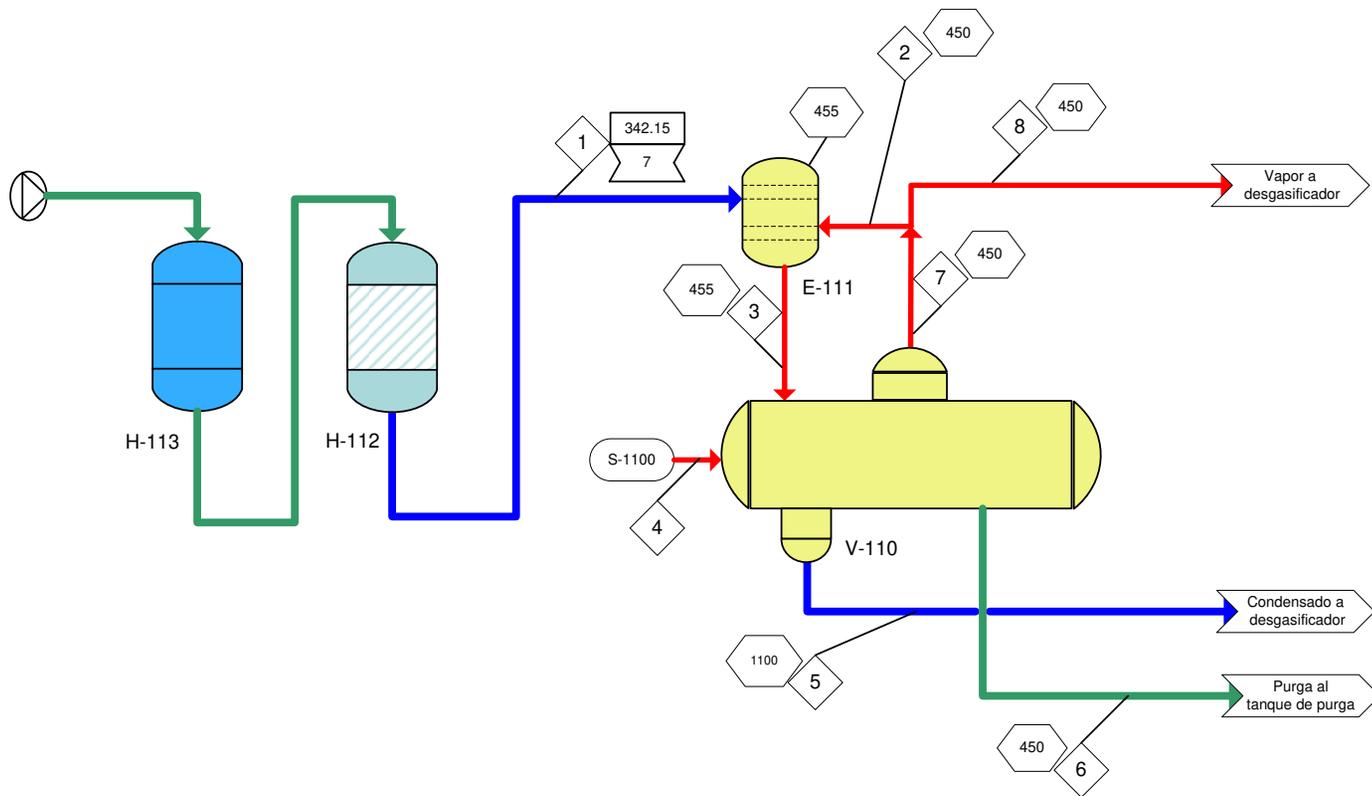
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 19/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 15								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	5,982.05	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	7,535.27	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	5,950.84	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,553.22	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,584.44	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	4,397.62
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,826.40	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,826.40	---	---	---

# Figura D.12: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



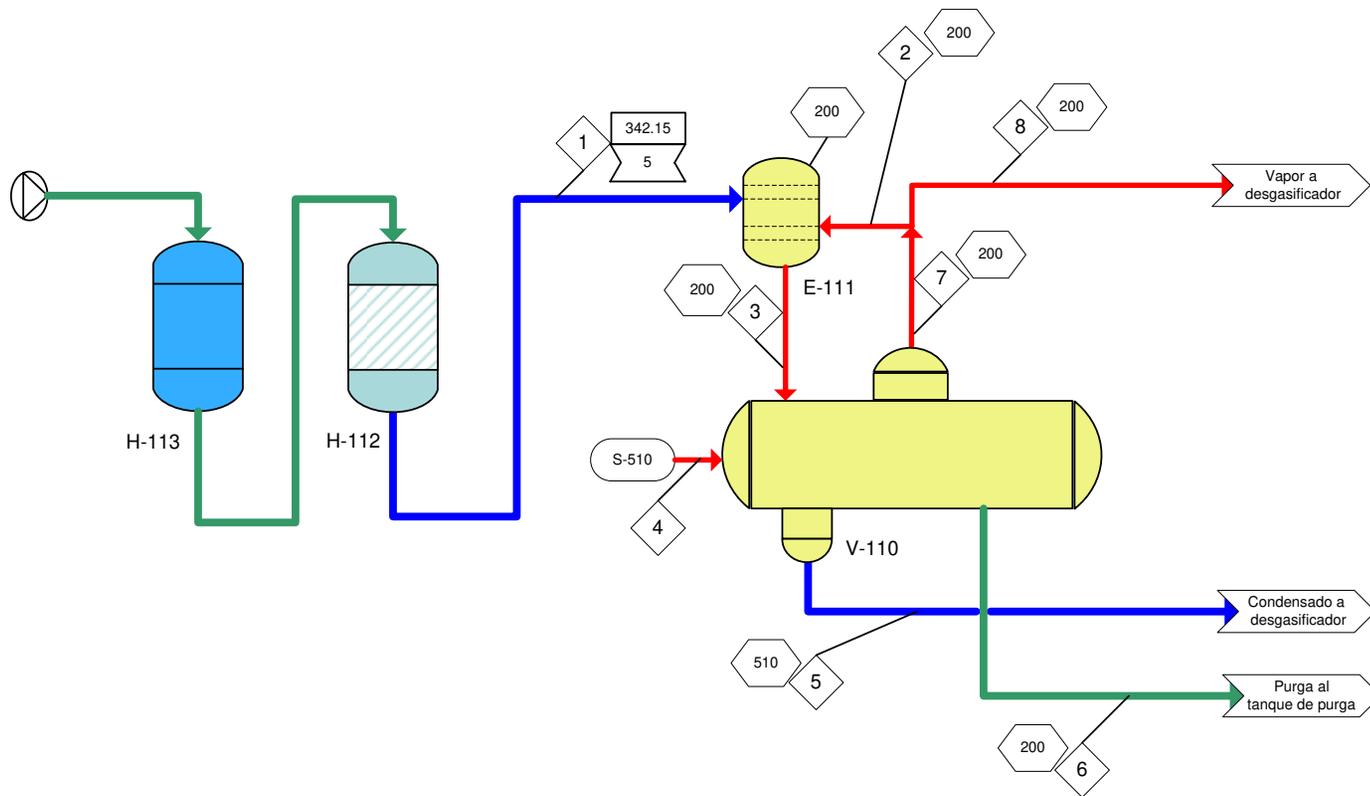
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 19/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 16								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,791.15	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	6,942.65	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,812.09	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,848.51	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,130.55
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,630.79	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,630.79	---	---	---

# Figura D.13: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

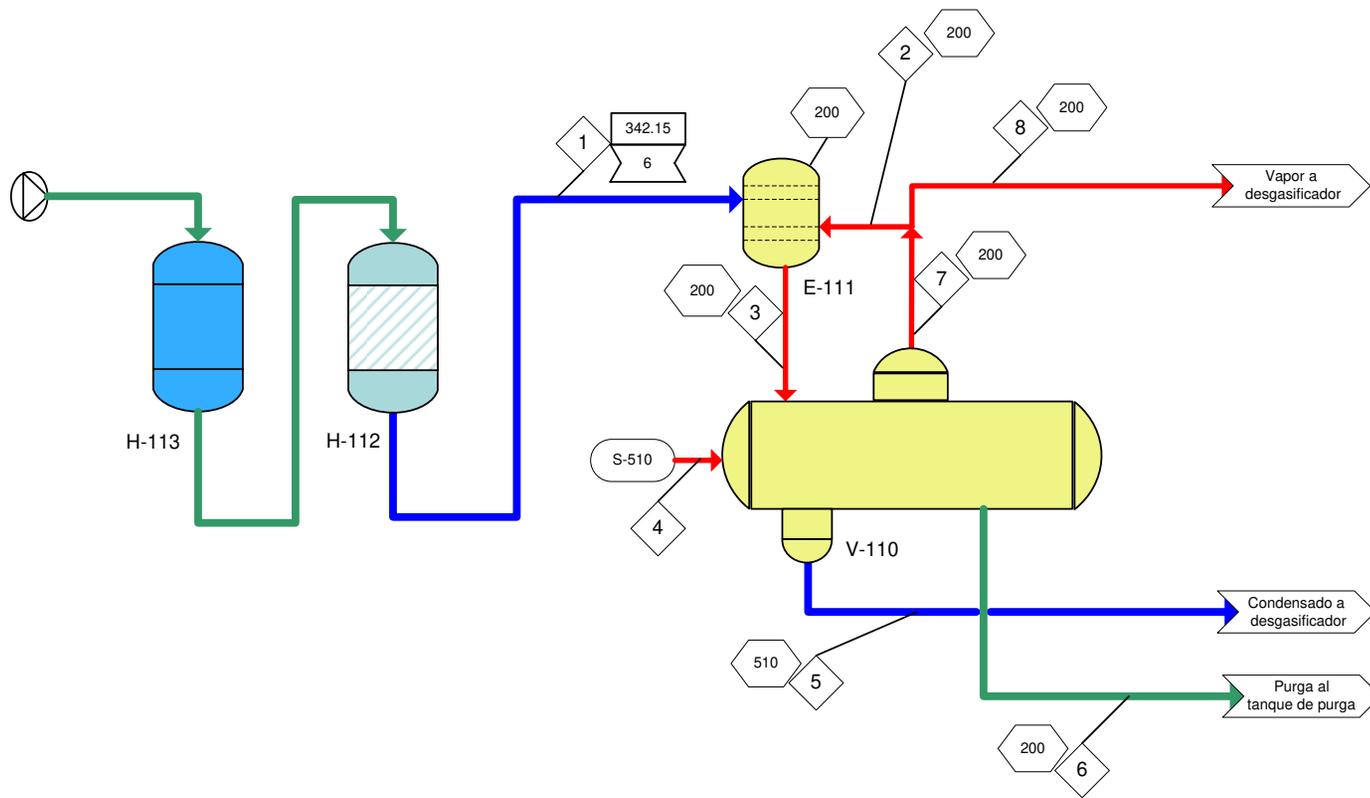
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Leyenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 24/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 5								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,019.38	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,729.13	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,034.33	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,290.25	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,694.80
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,974.27	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,974.27	---	---	---

# Figura D.14: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



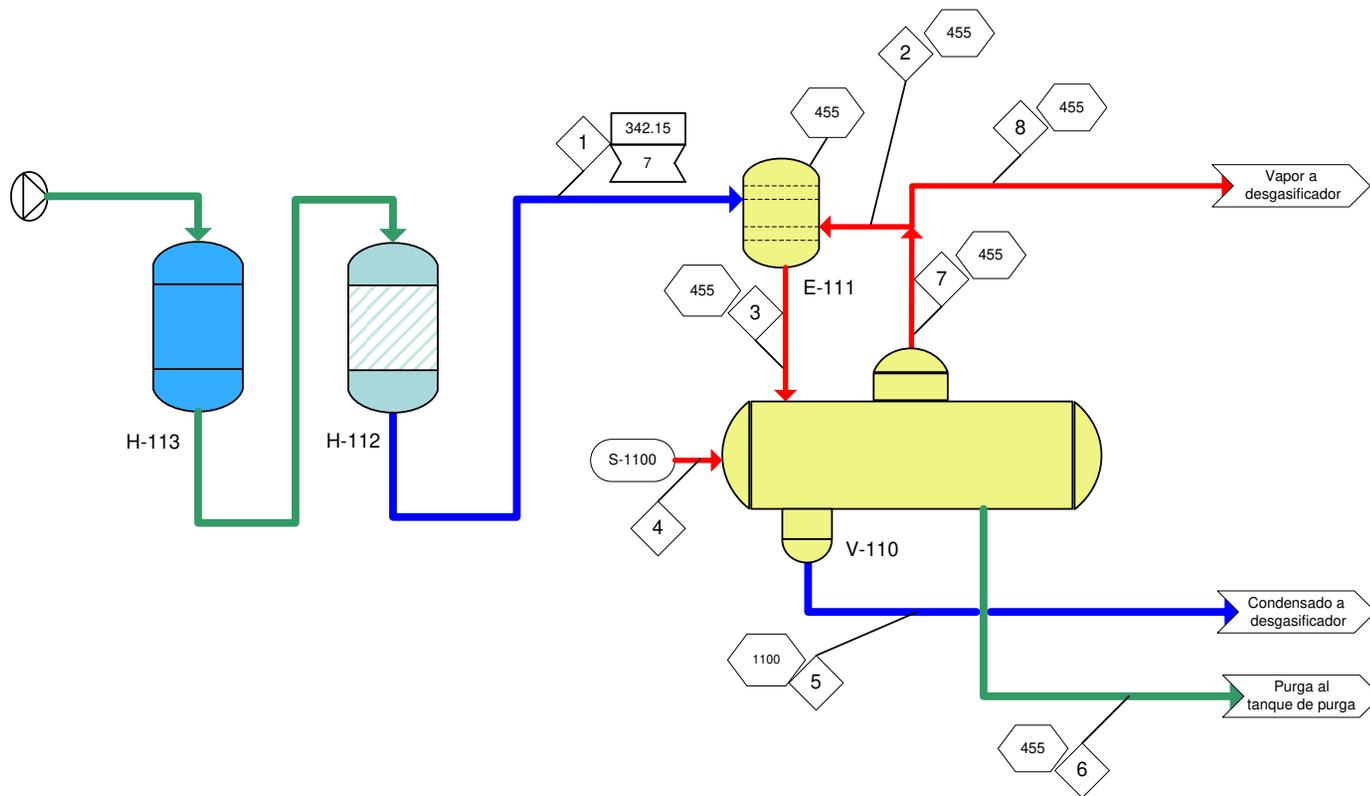
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 24/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 6								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	5,982.05	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	7,223.25	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	5,674.96	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,241.20	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,548.30	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	4,433.76
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,972.55	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,972.55	---	---	---

# Figura D.15: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

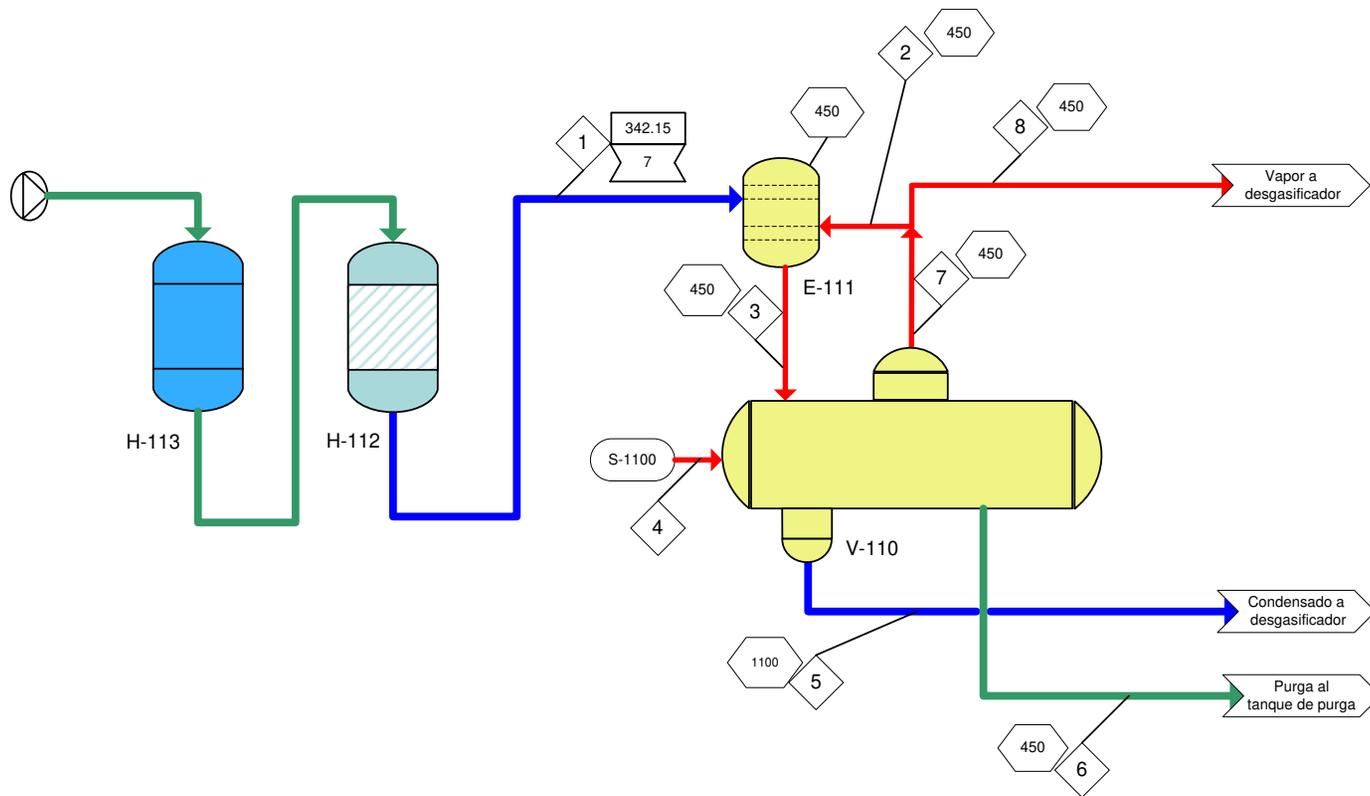
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 24/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 15								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,790.80	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	7,007.27	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,811.74	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,783.54	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,195.52
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,697.12	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,697.12	---	---	---

# Figura D.16: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

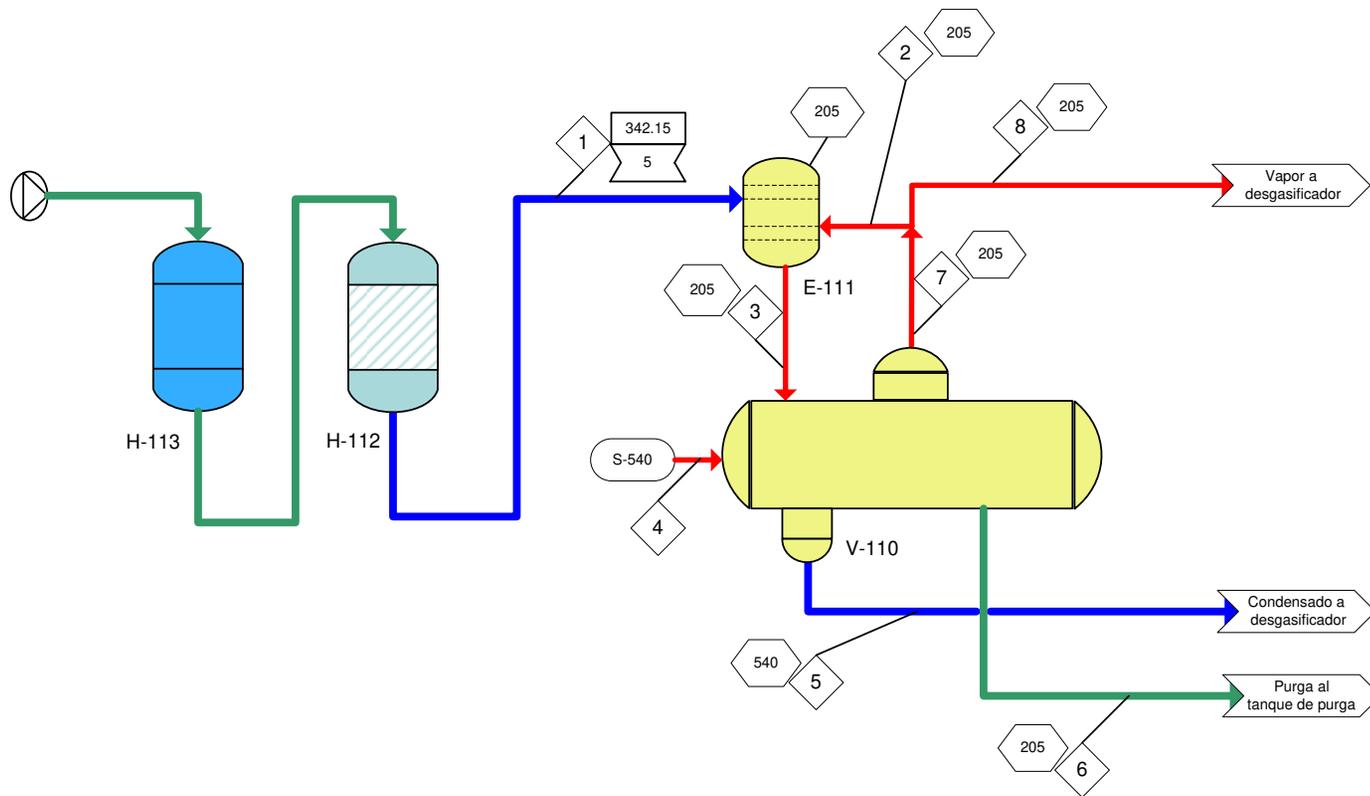
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Leyenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 24/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 16								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,797.52	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	7,013.98	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,818.46	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,783.54	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,195.52
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,679.53	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,679.53	---	---	---

# Figura D.17: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

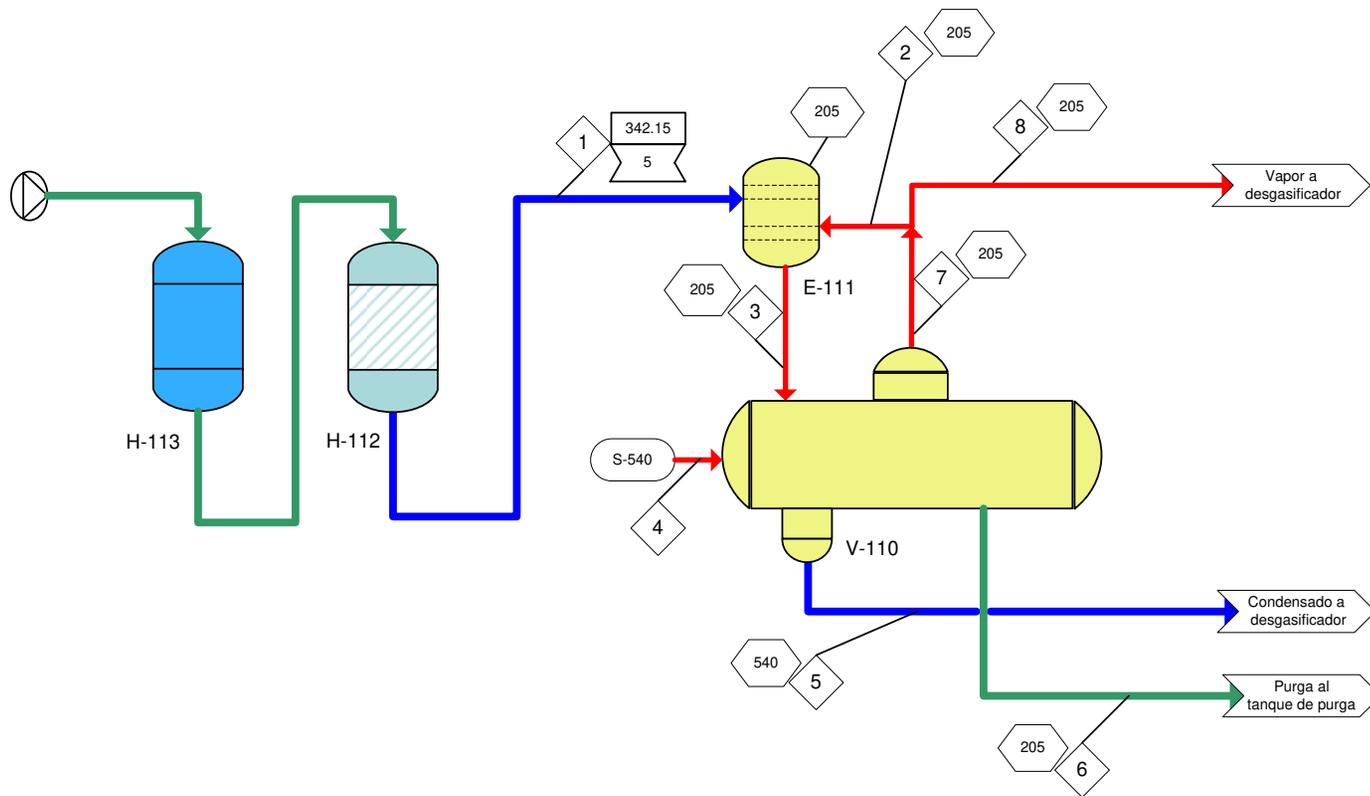
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Leyenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 31/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 5								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,021.53	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,825.12	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,036.48	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,196.41	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,788.63
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,081.07	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,081.07	---	---	---

# Figura D.18: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



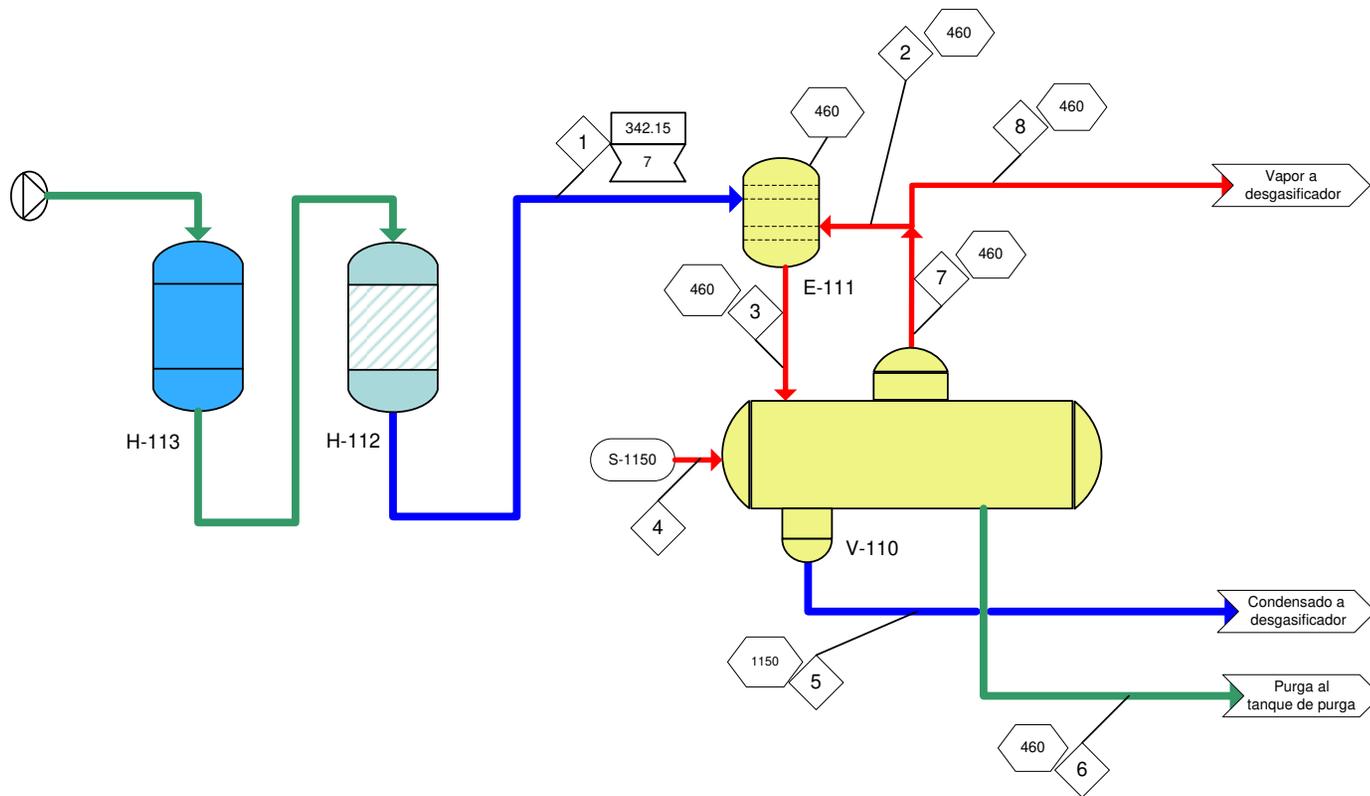
Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
◇	Punto de balance de materia
□	Temperatura (°K)
⬡	Presión (Kpa manométrica)
▭	Flujo de liquido (m³/h)
○	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
— (green)	Agua cruda
— (red)	Vapor
— (blue)	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 31/agosto/2005: Carga 20 Mw, hora 6								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	4,985.04	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	6,021.53	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	4,526.02	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,036.48	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,495.51	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	3,489.53
Vapor de calentamiento	---	---	---	4,766.10	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	4,766.10	---	---	---

# Figura D.19: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

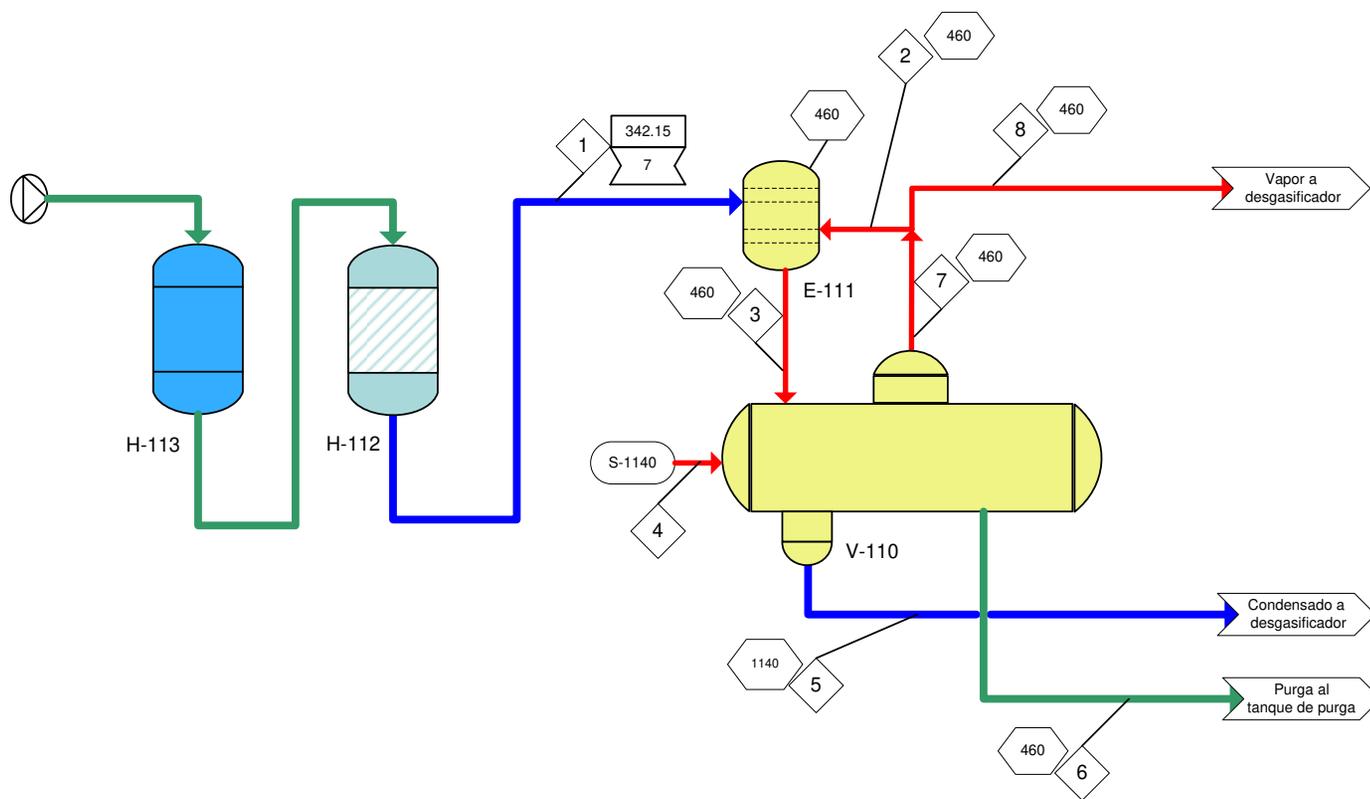
Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

### Legenda de Corrientes

- Agua cruda
- Vapor
- Agua blanda  
Condensado

Balance de materia: 31/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 15								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,796.82	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	7,121.84	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,817.75	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,674.98	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,304.09
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,808.81	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,808.81	---	---	---

# Figura D.20: Balance de materia y energía del sistema de evaporación para el agua de compensación, GECSA



Lista de equipamiento	
Nomenclatura	Descripción
E-111	Desgasificador del evaporador
H-112	Zeolita
H-113	Filtro de arena
V-110	Evaporador

Notación	
	Punto de balance de materia
	Temperatura (°K)
	Presión (Kpa manométrica)
	Flujo de liquido (m³/h)
	Vapor (Kpa manométrica)

Leyenda de Corrientes	
	Agua cruda
	Vapor
	Agua blanda Condensado

Balance de materia: 31/agosto/2005: Carga 38 Mw, hora 16								
Corriente (Kg/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Agua Blanda	6,979.06	---	---	---	---	---	---	---
Agua Blanda desgasificada	---	---	8,796.82	---	---	---	---	---
Vapor producido	---	---	---	---	---	---	7,121.84	---
Vapor desviado al desgasificador	---	1,817.75	---	---	---	---	---	---
Purga de agua	---	---	---	---	---	1,674.98	---	---
Vapor a proceso	---	---	---	---	---	---	---	5,304.09
Vapor de calentamiento	---	---	---	5,823.11	---	---	---	---
Condensado	---	---	---	---	5,823.11	---	---	---

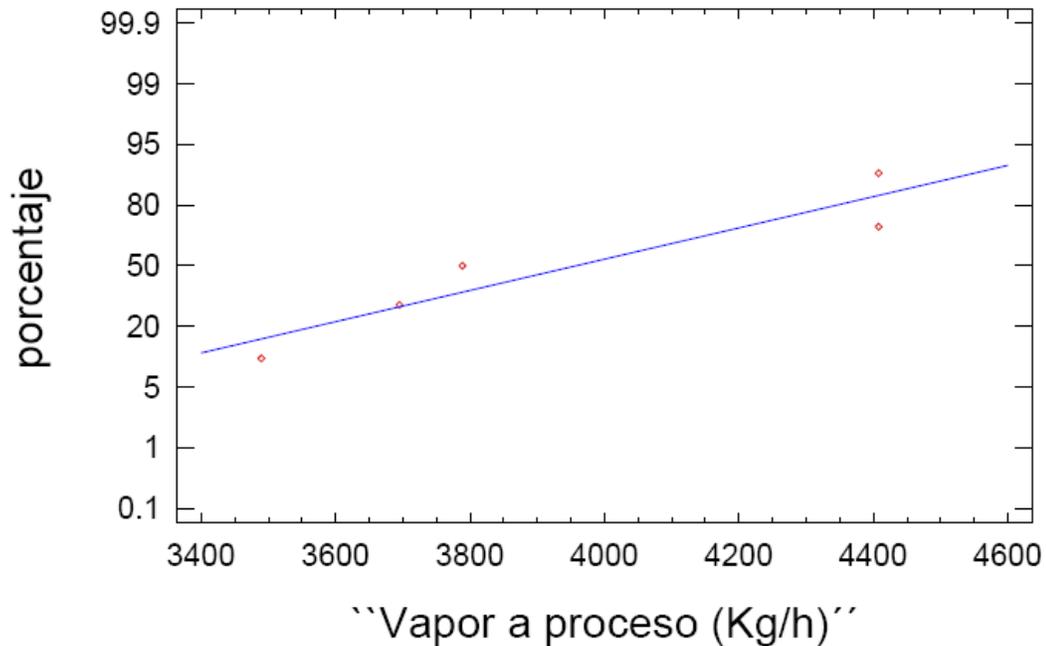
## Anexo E.1: Resumen Estadístico para `` Vapor a proceso `` (Hora 5)

Frecuencia	5.00
Media	3,957.72
Varianza	180,529.00
Desviación típica	424.89
Mínimo	3,489.53
Máximo	4,407.83
Rango	918.30
Asimetría tipi.	0.28
Curtosis típicada	-1.28
Coef. de variación	0.11

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para `` Vapor a proceso ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Vapor a proceso``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 3957.72 +/- 527.568 [3430.16, 4485.29]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [254.564, 1220.94]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Vapor a proceso``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Vapor a proceso`` se encuentra entre 3430.16 y 4485.29, mientras que la desviación típica real está entre 254.564 y 1220.94. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

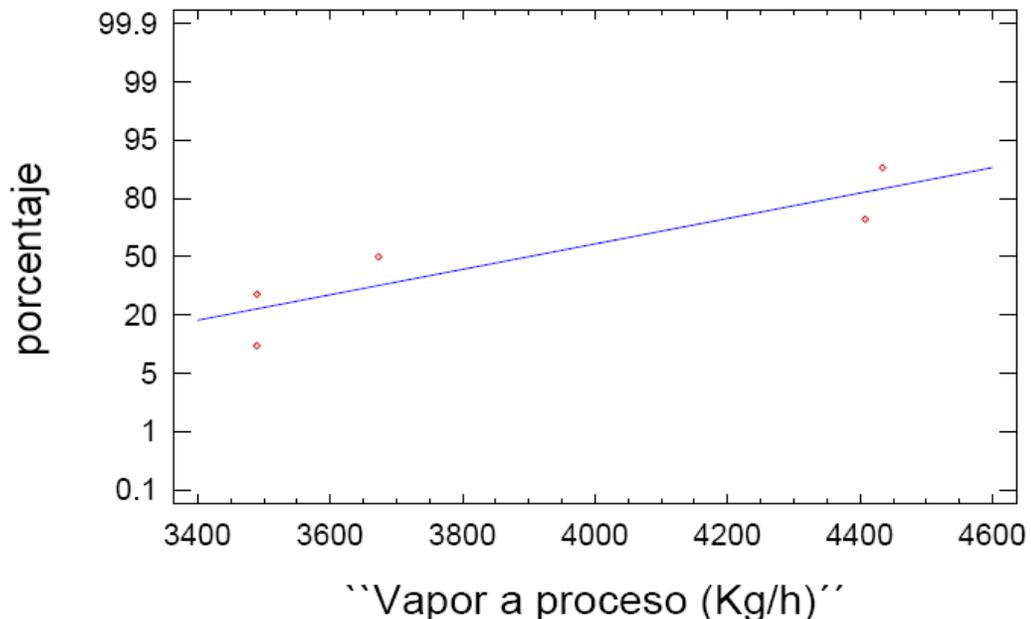
## Anexo E.2: Resumen Estadístico para ``Vapor a proceso`` (Hora 6)

Frecuencia	5.00
Media	3,898.77
Varianza	232,798.00
Desviación típica	482.49
Mínimo	3,489.53
Máximo	4,433.76
Rango	944.23
Asimetría tipi.	0.46
Curtosis típificada	-1.46
Coef. de variación	0.12

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Vapor a proceso``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Vapor a proceso``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 3898.77 +/- 599.094 [3299.67, 4497.86]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [289.077, 1386.47]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Vapor a proceso``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Vapor a proceso`` se encuentra entre 3299.67 y 4497.86, mientras que la desviación típica real está entre 289.077 y 1386.47. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

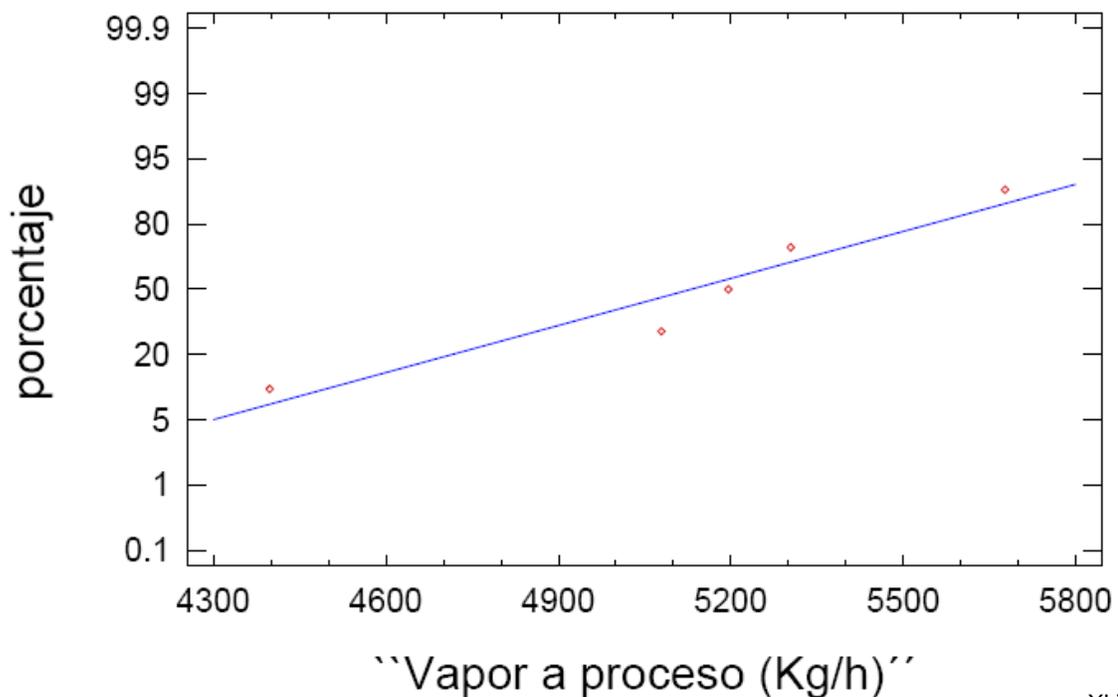
### Anexo E.3: Resumen Estadístico para ``Vapor a proceso``(Hora 15)

Frecuencia	5.00
Media	5,130.70
Varianza	218,216.00
Desviación típica	467.14
Mínimo	4,397.62
Máximo	5,677.09
Rango	1,279.47
Asimetría tipi.	-0.84
Curtosis típicada	0.89
Coef. de variación	0.09

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Vapor a proceso``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Vapor a proceso``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 5130.7 +/- 580.028 [4550.68, 5710.73]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [279.877, 1342.34]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Vapor a proceso``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Vapor a proceso`` se encuentra entre 4550.68 y 5710.73, mientras que la desviación típica real está entre 279.877 y 1342.34. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

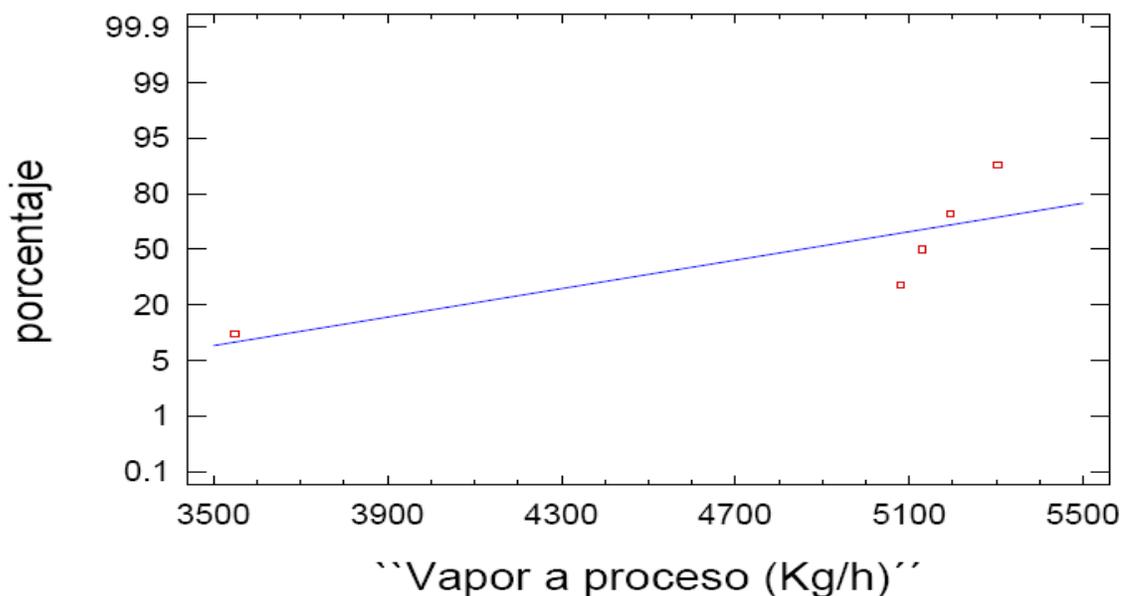
#### Anexo E.4: Resumen Estadístico para "Vapor a proceso" (Hora 16)

Frecuencia	5.00
Media	4,851.51
Varianza	537,889.00
Desviación típica	733.41
Mínimo	3,548.18
Máximo	5,304.09
Rango	1,755.91
Asimetría tipi.	-1.97
Curtosis típicada	2.17
Coef. de variación	0.15

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para "Vapor a proceso". Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado no está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Vapor a proceso``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 4851.51 +/- 910.65 [3940.86, 5762.16]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [439.41, 2107.49]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Vapor a proceso``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Vapor a proceso`` se encuentra entre 3940.86 y 5762.16, mientras que la desviación típica real está entre 439.41 y 2107.49. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

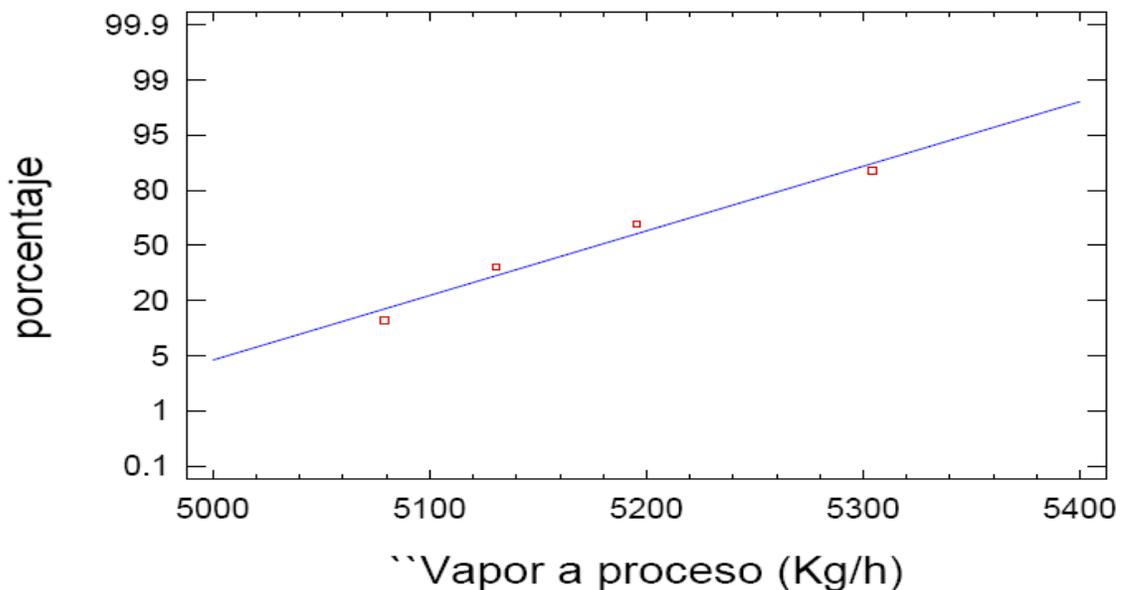
## Anexo E.5: Resumen Estadístico para ``Vapor a proceso`` (Hora 16 Modificado)

Frecuencia	4.00
Media	5,177.34
Varianza	9,404.89
Desviación típica	96.98
Mínimo	5,079.21
Máximo	5,304.09
Rango	224.88
Asimetría tipi.	0.59
Curtosis típicada	-0.04
Coef. de variación	0.02

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Vapor a proceso``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Vapor a proceso``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 5177.34 +/- 154.315 [5023.03, 5331.66]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [54.9377, 361.592]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Vapor a proceso``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Vapor a proceso`` se encuentra entre 5023.03 y 5331.66, mientras que la desviación típica real está entre 54.9377 y 361.592. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

## Anexo E.6: Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$

---

**Variable dependiente: ``Vapor a proceso (Kg/h)``**

**Variable independiente: ``Carga (KW)``**

---

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	2,566.27			
Pendiente	68.10			

### Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	751,262.00	1.00	751,262.00		
Residuo	0.00	0.00	0.00		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>751,262.00</b>	<b>1.00</b>			

Coefficiente de Correlación	1.00
R-cuadrado	100.0 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.)	0.0 porcentaje
Error estándar de est.	0.00
Error absoluto medio	0.00

### El StatAdvisor

---

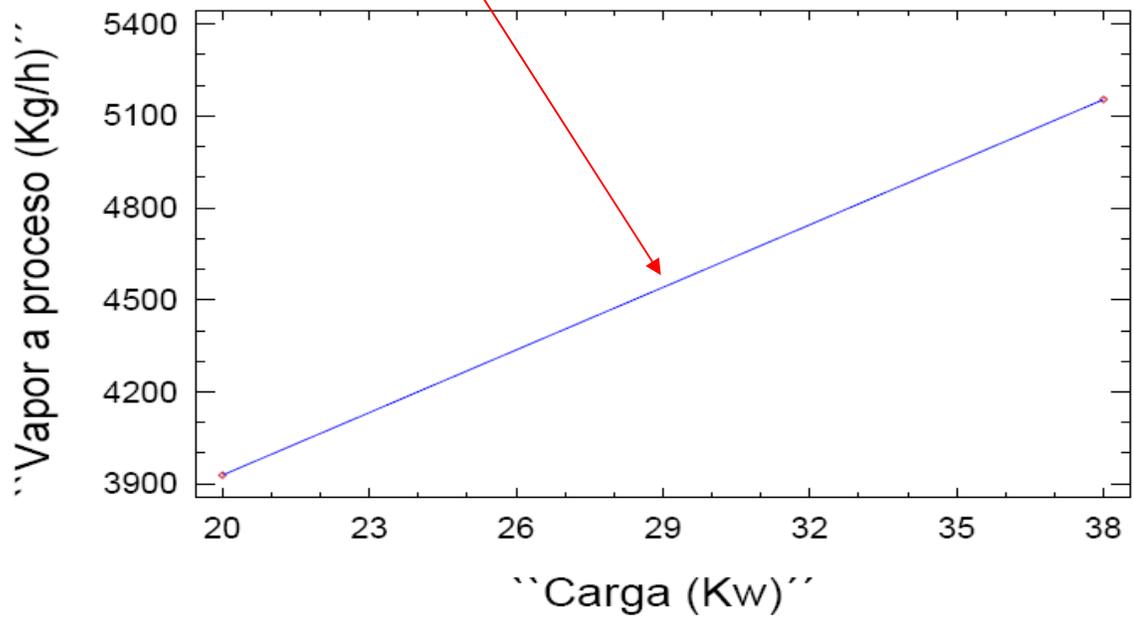
La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre ``Vapor a proceso (Kg/h)`` y ``Carga (KW)``. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{``Vapor a proceso (Kg/h)``} = 2,566.27 + 68.0986 * \text{``Carga (KW)``}$$

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 100.0% de la variabilidad en ``Vapor a proceso``. El coeficiente de correlación es igual a 1.0, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

### Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Vapor a proceso (Kg/h)} = 2,566.27 + 68.0986 * \text{Carga (KW)}$$



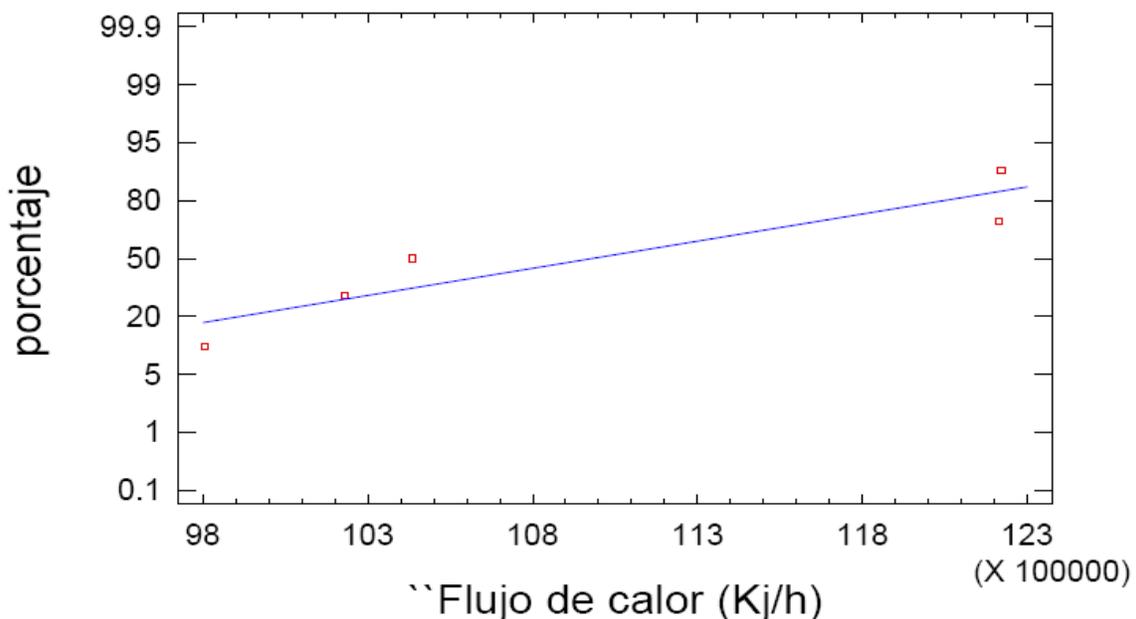
### Anexo E.7: Resumen Estadístico para ``Flujo de calor `` (Hora 5)

Frecuencia	5.00
Media	10,981,200.00
Varianza	1,325,140,000,000.00
Desviación típica	1,151,150.00
Mínimo	9,804,520.00
Máximo	12,221,000.00
Rango	2,416,470.00
Asimetría tipi.	0.39
Curtosis típicada	-1.38
Coef. de variación	0.10

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Flujo de calor ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Flujo de calor ``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 1.09812E7 +/- 1.42934E6 [9.551E6, 1.241E7]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [689690.0, 3.307E6]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Flujo de calor ``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Flujo de calor `` se encuentra entre 9.55181E6 y 1.24105E7, mientras que la desviación típica real está entre 689690.0 y 3.30788E6. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

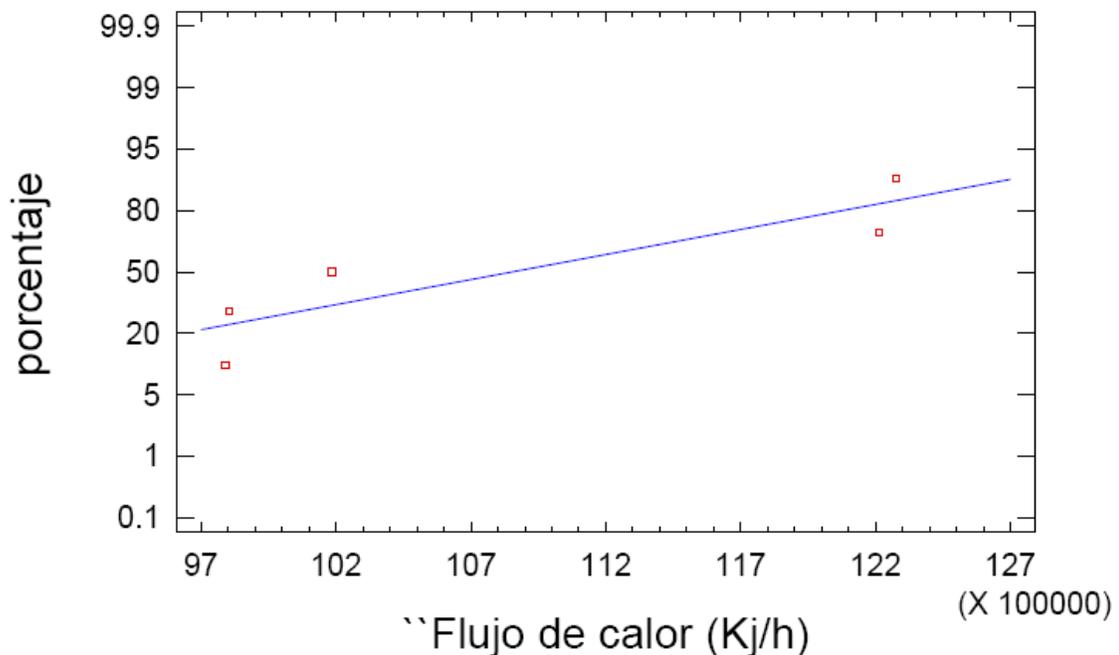
### Anexo E.8: Resumen Estadístico para ``Flujo de calor `` (Hora 6)

Frecuencia	5.00
Media	10,853,600.00
Varianza	1,639,460,000,000.00
Desviación típica	1,280,410.00
Mínimo	9,788,940.00
Máximo	12,277,100.00
Rango	2,488,150.00
Asimetría tipi.	0.50
Curtosis típicada	-1.48
Coef. de variación	0.12

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Flujo de calor ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Flujo de calor ``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 1.08536E7 +/- 1.58985E6 [9.263E6, 1.244E7]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [767138.0, 3.679E6]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Flujo de calor ``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Flujo de calor `` se encuentra entre 9.26379E6 y 1.24435E7, mientras que la desviación típica real está entre 767138.0 y 3.67934E6. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

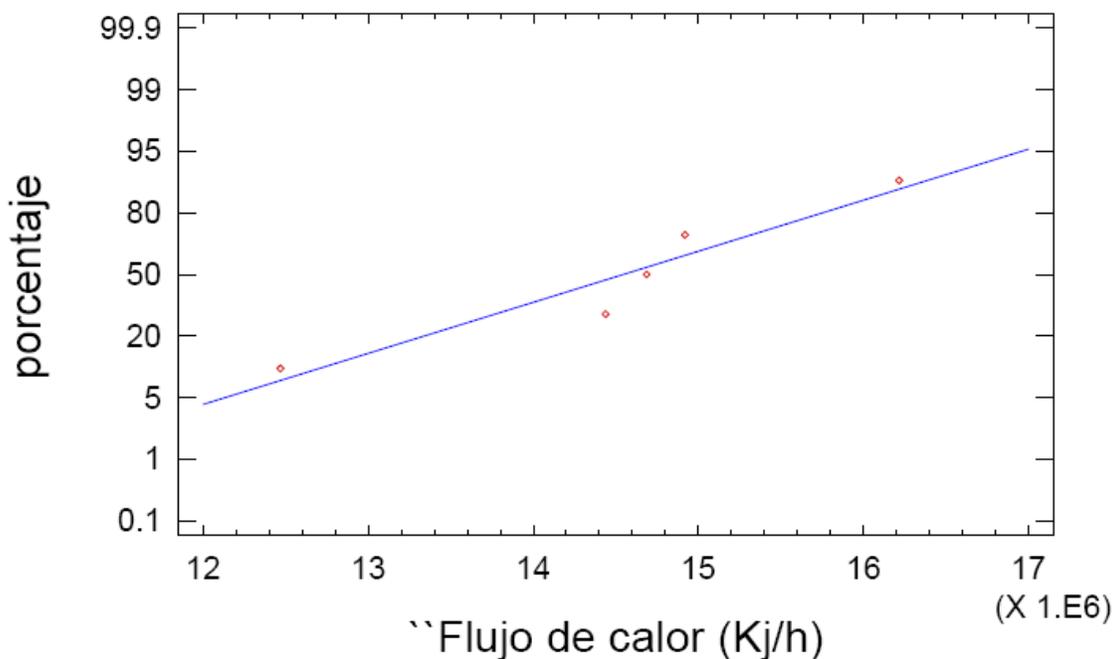
## Anexo E.9: Resumen Estadístico para ``Flujo de calor `` (Hora 15)

Frecuencia	5.00
Media	14,545,400.00
Varianza	1,819,630,000,000.00
Desviación típica	1,348,930.00
Mínimo	12,467,700.00
Máximo	16,215,900.00
Rango	3,748,220.00
Asimetría tipi.	-0.66
Curtosis típificada	0.91
Coef. de variación	0.09

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Flujo de calor ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----  
Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Flujo de calor ``

-----  
95.0% intervalo de confianza para la media: 1.45454E7 +/- 1.67493E6 [1.287E7, 1.622E7]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [808192.0, 3.876E6]

## El StatAdvisor

-----  
Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Flujo de calor ``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Flujo de calor `` se encuentra entre 1.28705E7 y 1.62204E7, mientras que la desviación típica real está entre 808192.0 y 3.87624E6. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

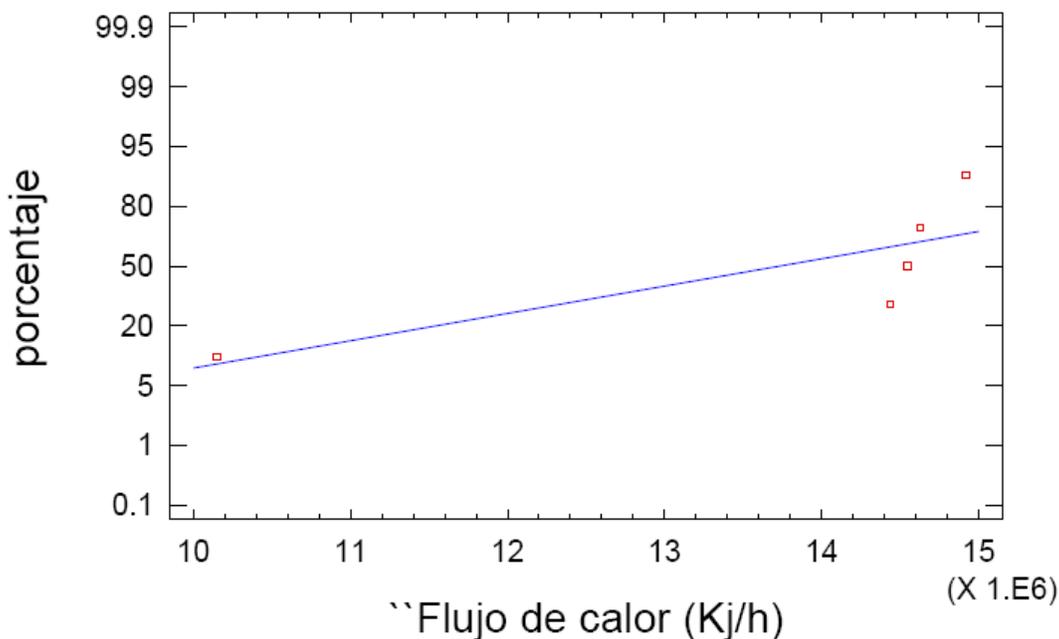
### Anexo E.10: Resumen Estadístico para ``Flujo de calor `` (Hora 16)

Frecuencia	5.00
Media	13,735,600.00
Varianza	4,051,590,000,000.00
Desviación típica	2,012,860.00
Mínimo	10,149,100.00
Máximo	14,918,900.00
Rango	4,769,880.00
Asimetría tipi.	-2.00
Curtosis típicada	2.21
Coef. de variación	0.15

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Flujo de calor ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado no está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado no está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----

Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Flujo de calor ``

-----

95.0% intervalo de confianza para la media: 1.37356E7 +/- 2.4993E6 [1.123E7,1.623E7]  
95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [1.20597E6, 5.784E6]

## El StatAdvisor

-----

Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Flujo de calor ``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Flujo de calor `` se encuentra entre 1.12363E7 y 1.62349E7, mientras que la desviación típica real está entre 1.20597E6 y 5.78405E6. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

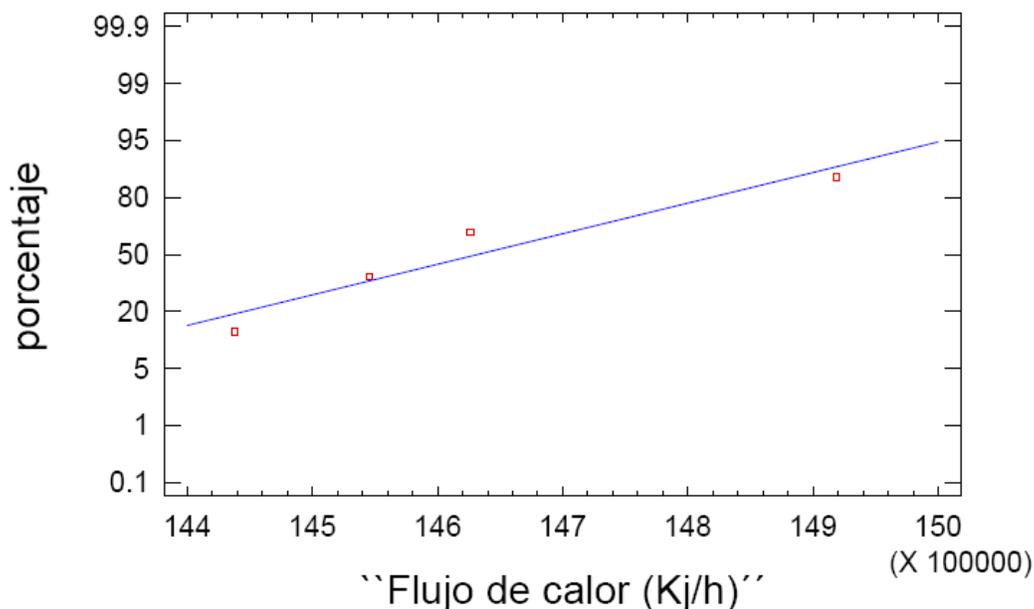
### Anexo E.11: Resumen Estadístico para ``Flujo de calor `` (Hora 16 modificado)

Frecuencia	4.00
Media	14,632,200.00
Varianza	42,488,700,000.00
Desviación típica	206,128.00
Mínimo	14,438,000.00
Máximo	14,918,900.00
Rango	480,960.00
Asimetría tipi.	0.97
Curtosis típicada	0.70
Coef. de variación	0.01

#### El StatAdvisor

Esta tabla muestra el resumen estadístico para ``Flujo de calor ``. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### Gráfico de Probabilidad Normal



## El StatAdvisor

-----

Para crear este gráfico, los valores se han ordenado de menor a mayor. Después, los valores se han trazado frente a los valores  $(i-0.375)/(n+0.25)$ , donde  $n$  es el tamaño de la muestra. Si los datos proceden de una distribución normal, los puntos deben presentarse aproximadamente a lo largo de una línea recta. En el gráfico se ha superpuesto una línea de referencia para ayudarle a juzgar la aproximación a la línea recta. La línea de referencia ha sido ajustada por el método de los mínimos cuadrados. Si los puntos muestran una curvatura significativa, puede ser una indicación de asimetría en los datos.

## Intervalos de Confianza para ``Flujo de calor ``

-----

95.0% intervalo de confianza para la media: 1.46322E7 +/- 327996.0 [1.430E7, 1.496E7]

95.0% intervalo de confianza para la desviación típica: [116770.0, 768561.0]

## El StatAdvisor

-----

Aquí se muestran intervalos de confianza al 95.0% de la media y desviación típica de ``Flujo de calor ``. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de ``Flujo de calor `` se encuentra entre 1.43042E7 y 1.49602E7, mientras que la desviación típica real está entre 116770.0 y 768561.0. Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto.

## Anexo E.12: Análisis de Regresión Múltiple

-----  
**Variable dependiente: ``Flujo de calor (Kj/h) ``**

**Variable independiente: ``Carga (KW) ``**  
 -----

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Ordenada	6,836,160.00			
Pendiente	204,062.00			

### Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	6,745,860,000,000.00	1.00	6,745,860,000,000.00		
Residuo	0.00	0.00	0.00		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>6,745,860,000,000.00</b>	<b>1.00</b>			

Coefficiente de Correlación	1.00
R-cuadrado	100.0 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para g.l.)	0.0 porcentaje
Error estándar de est.	0.00
Error absoluto medio	0.00

### El StatAdvisor

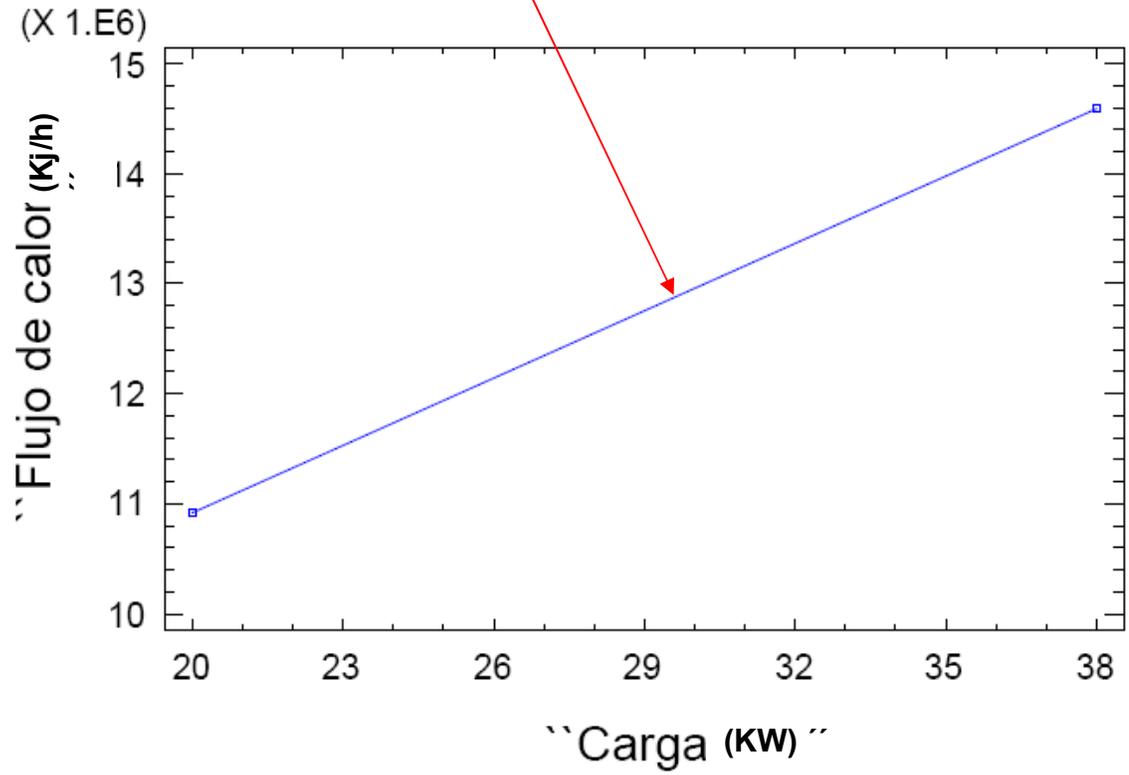
-----  
 La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre ``Flujo de calor (Kj/h) `` y ``Carga (KW) ``. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{``Flujo de calor (Kj/h)``} = 6.83616E6 + 204,062.0 * \text{``Carga (KW)``}$$

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 100.0% de la variabilidad en ``Flujo de calor``. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más conveniente para comparar modelos con diferente números de variables independientes, es 0.0%. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 0.0. Este valor puede usarse para construir los límites de predicción para las nuevas observaciones seleccionando la opción Informes del menú del texto. El error absoluto medio (MAE) de 0.0 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero.

### Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Flujo de calor (Kj/h)} = 6.83616E6 + 204062.0 * \text{Carga (KW)}$$



**Anexo F: Promedio de recuperación del agua que se alimenta al evaporador**

**Tabla F: Promedio de recuperación del agua que se alimenta al evaporador**

<b>Carga (MW)</b>	<b>Porcentaje de Flujo alimentación/ Flujo de vapor generado</b>	<b>Porcentaje de flujo de vapor a proceso/ flujo de vapor generado</b>
20	78%	78%
38	79%	74%
<b>Promedio</b>	<b>78%</b>	<b>76%</b>

## Anexo G. Fotos del sistema de evaporación



Foto 01: Bomba de agua cruda



Foto 02: Tanque de almacenamiento de agua cruda



Foto 03: Bombas de servicio de planta



Foto 04: Filtros de arena



Foto 05: Tanques de zeolita



Foto 06 Degasificador del evaporador



Foto 07: Evaporador



Foto 08: Desaerador



Foto 10: Tanque de alimentación de la caldera



Foto 10: Panel de muestras químicas



Foto 10: Panel de control de zeolitas

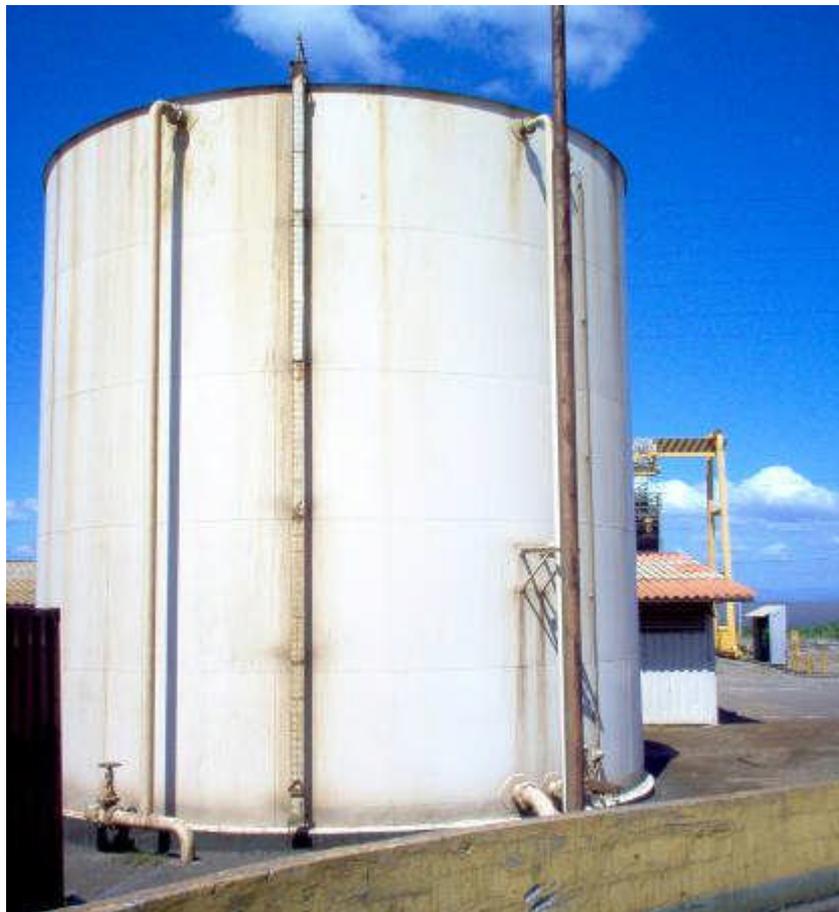


Foto 11: Tanque de almacenamiento de condensado (gotas)

**Anexo H: Formato para el análisis físico-químico del agua**

**Análisis de agua cruda**

Fecha: \_\_\_\_\_

Conductividad: \_\_\_\_\_ PH: \_\_\_\_\_ Temperatura (°C): \_\_\_\_\_

**Análisis de agua cruda (ppm como CaCO<sub>3</sub>, mg/L, meq/L:**

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> _____	K <sup>+</sup> _____	Sr <sup>+2</sup> _____	Fe <sup>+2</sup> _____
Na <sup>+</sup> _____	Mg <sup>+2</sup> _____	Ca <sup>+2</sup> _____	Ba <sup>+2</sup> _____
Sr <sup>+2</sup> _____	Fe <sup>+2</sup> _____	Fe (tot) _____	Mn <sup>+2</sup> _____
B _____	Al <sup>+3</sup> _____	CO <sub>2</sub> _____	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> _____
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _____	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> _____	Cl <sup>-</sup> _____	F <sup>-</sup> _____
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> _____	PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> _____	S <sup>-2</sup> _____	SiO <sub>2</sub> (coloidal) _____

SiO<sub>2</sub> (soluble) \_\_\_\_\_

Otros iones: \_\_\_\_\_

---

Sólidos totales disueltos: STD (por método) \_\_\_\_\_

Total carbón orgánico: TCD \_\_\_\_\_

Demanda bioquímica de oxígeno: DBO \_\_\_\_\_

Demanda química de oxígeno: DQO \_\_\_\_\_

Descomposición bioquímica de compuestos orgánicos: BDOC (siglas ingles) \_\_\_\_\_

Alcalinidad total (M) \_\_\_\_\_

Alcalinidad parcial (P) \_\_\_\_\_

Dureza total \_\_\_\_\_

Turbiedad \_\_\_\_\_

Silt density index (SDI) \_\_\_\_\_

Bacteria (conteo/ml) \_\_\_\_\_

Cloro libre \_\_\_\_\_

Remarcar (olor, color, actividad biológica, etc) \_\_\_\_\_

**Anexo I: Análisis de agua cruda para agua de compensación**

**Análisis de agua cruda**

**Fecha: 28 de febrero de 2006**

**Conductividad: 665 umho/cm**  
**Temperatura (°C): 32**

**PH: 7.98**

**Análisis de agua cruda (ppm como CaCO<sub>3</sub>, mg/L, meq/L:**

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.27**

**K<sup>+</sup> \_\_\_\_\_**

**Sr<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**Fe<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**Na<sup>+</sup> \_\_\_\_\_**

**Mg<sup>+2</sup> 46.98**

**Ca<sup>+2</sup> 93.4**

**Ba<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**Sr<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**Fe<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**Fe (tot) \_\_\_\_\_**

**Mn<sup>+2</sup> \_\_\_\_\_**

**B \_\_\_\_\_**

**Al<sup>+3</sup> \_\_\_\_\_**

**CO<sub>2</sub> \_\_\_\_\_**

**CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> 0**

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 191.6**

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> \_\_\_\_\_**

**Cl<sup>-</sup> 46**

**F<sup>-</sup> \_\_\_\_\_**

**SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> \_\_\_\_\_**

**PO<sub>4</sub><sup>-2</sup> \_\_\_\_\_**

**S<sup>-2</sup> \_\_\_\_\_**

**SiO<sub>2</sub> (coloidal) \_\_\_\_\_**

**SiO<sub>2</sub> (soluble) 40**

**Otros iones: \_\_\_\_\_**

---

**Sólidos totales disueltos: STD (por método) 532**

**Total carbón orgánico: TCD \_\_\_\_\_**

**Demanda bioquímica de oxígeno: DBO \_\_\_\_\_**

**Demanda química de oxígeno: DQO \_\_\_\_\_**

**Descomposición bioquímica de compuestos orgánicos: BDOC (siglas ingles) \_\_\_\_\_**

**Alcalinidad total (M) 0**

**Alcalinidad parcial (P) 191.6**

**Dureza total 142**

**Turbiedad \_\_\_\_\_**

**Silt density index (SDI) \_\_\_\_\_**

**Bacteria (conteo/ml) \_\_\_\_\_**

**Cloro libre \_\_\_\_\_**

**Remarcar (olor, color, actividad biológica, etc) \_\_\_\_\_**

Anexo J: Cotización del sistema de ósmosis inversa



**OSMOSISTEMAS**  
**DE CENTROAMERICA, S. A.**



13 Avenida 13-23, Zona 10 Okland 01010 Guatemala, C.A.  
Teléfono: 298-8392 Telefax 368-1964 Skytel: 360-0000 PIN 502-4243  
e-mail: osmosisa@itelgua.com



**OSMOSISTEMAS**  
**DE CENTROAMERICA, S. A.**

PROPUESTA COMERCIAL  
OSMOSISTEMAS DE CENTRO AMERICA S.A.  
PLANTA ELECTRICA

**Compañía:** GENERADORA ELECTRICA CENTRAL S.A.

**Atn:** Ing. Silvano Cruz  
Consultor

**Dirección** Nicaragua, Managua

**TEL:** 505-8690854

**Proyecto** Planta Eléctrica

**Cotización** 041806-C 68

**Fecha:** Abril 18 del 2006

**Presentada por:**

*Ing. Mario Hernández*  
*Director General*  
[marioh@grupo-osmosistemas.com](mailto:marioh@grupo-osmosistemas.com)  
Celular: 502-52067942

**Elaborada por:**

*Amparo Osorio, MBA*  
*Gerente Administrativa*  
[Admon.asorio@grupo-osmosistemas.com](mailto:Admon.asorio@grupo-osmosistemas.com)  
Celular: 502-52067875



## **OSMOSISTEMAS DE CENTROAMERICA, S. A.**

En referencia a nuestra reciente comunicación vía telefónica y de acuerdo a sus requerimientos nos permitimos presentar a su consideración nuestra mejor propuesta para obtener 30 gpm de agua permeada, es preciso señalar que se recomienda invertir en 2 sistemas de pretratamiento y dos de osmosis inversa, si se requiere operar 24 horas continuas, ya que mientras un sistema opera el otro esta en retrolavado/ regeneración (pretratamiento) y lavar la maquina de osmosis con químicos, cuando la otra maquina esta operando.

### **BOMBA DE ALIMENTACION:**

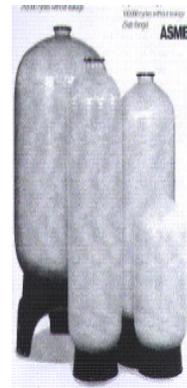


1-. Bomba marca Sta Rite modelo DHH con succión de 2" y descarga de 1 1/2" acoplada a motor eléctrico, monofasico de 3 hp 230 volt 60 hz para manejar 110 gpm a 30 psi.

**VALOR UNITARIO: \$ 2,635.00 USD**

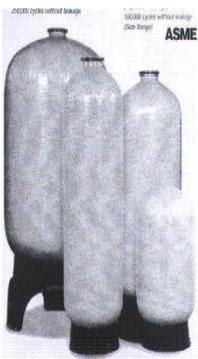
2-. Filtro de arena F36-VN-S con tanques de fibra de vidrio de 36"x72", con válvula Magnum o similar. Para manejar un flujo en servicio continuo de 60 gpm, contiene 26 pies cúbicos de arenas y gravas como cama de soporte.

**VALOR UNITARIO: \$ 11,538.00 USD  
TOTA POR DOS: \$ 23,076.00 USD**



3-. Filtro de carbón activado C36-S con tanques de fibra de vidrio de 36"x72". Para manejar un flujo en servicio continuo de 60 gpm, contiene 23 pies cúbicos de carbón activado y gravas como cama de soporte, con válvula Magnum o similar

**VALOR UNITARIO: \$ 7,367.00 USD  
TOTAL POR DOS: \$ 14,734.00 USD**



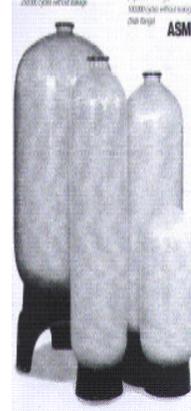
13 Avenida 13-23, Zona 10 Okland 01010 Guatemala, C.A.  
Teléfono: 298-8392 Telefax 368-1964 Skytel: 360-0000 PIN 502-4243  
e-mail: [osmosisa@itelgua.com](mailto:osmosisa@itelgua.com)



# OSMOSISTEMAS DE CENTROAMERICA, S. A.

4-. Filtro suavizador en tanque de fibra de vidrio de 36"x72", para manejar un flujo en servicio continuo de 60 gpm, con válvula Magnum, con 23 pies cúbicos de resina y cama de soporte y tanque de salmuera.

**VALOR UNITARIO: \$ 8,667.00USD**  
**TOTAL POR DOS: \$ 17,334.00 USD**



## TRATAMIENTO:



**E8-57K-DLX**

5-.Maquina de osmosis inversa, modelo E4H-43DLX; marca GE/Osmonics para producir 30 galones por minuto, con bomba de 15 hp, con tubería de entrada 1.5 permeado y concentrado de 1" la versión de lujo incluye sistema de limpieza y los sistemas de protección y control del equipo; así como el sistema dosificador de químicos.

**VALOR UNITARIO DLX: \$ 54,031.00 USD**  
**TOTAL POR DOS: \$ 108,062.00 USD**

## **ESPECIFICACIONES:**

Presión de operación	200-220 psig
Máxima recuperación	75%
Rechazo nominal	95-98%
Temperatura de operación	55-85° F
Entrada mínima de presión	30 psig
Diseño de temperatura	77°F
Bomba	Tonkaflo centrifuga multietapas, de 15 hp.
Motor	3 fases 460 VAC
Membranas	Desal AG4040F
Housing para la membrana:	Acero Inoxidable.
Tubería de baja presión	Cedula 80, PVC
Tubería de alta presión:	Acero Inoxidable

## **VERSION ECONOMY INCLUYE:**

Pre filtro de 5 micras con housing incluido, de 20" de largo.  
Válvula de entrada con apagado automático.  
Controlador Lakewood 2450

13 Avenida 13-23, Zona 10 Okland 01010 Guatemala, C.A.  
Teléfono: 298-8392 Telefax 368-1964 Skytel: 360-0000 PIN 502-4243  
e-mail: [osmosisa@itelgua.com](mailto:osmosisa@itelgua.com)



# OSMOSISTEMAS DE CENTROAMERICA, S. A.

Medidores de flujo digitales de permeado y concentrado  
Alarmas de alta presión, alta temperatura [105°F (41°C)], conductividad de permeado alta

## VERSION DE LUXE INCLUYE ADEMAS DE LO ANTERIORMENTE ESCRITO

Sistema de controlador digital para ph  
Sistema dosificador de químicos, incluye bomba dosificadora de 30 gpd y tanque de almacenamiento aforado de 35 galones  
Válvula de purga en el permeado  
Sistema de alarmas de alta presión en el permeado y alta o baja presión en el ph  
Sistema de limpieza con bomba y tanque. (CIP)

6. Maquina de Electrodionización marca E-CELL, modelo ESS 2 marca GE/Osmonics para producir hasta 30 galones por minuto con tubería de entrada y salida de 1.5", calidad de producción de 16 MOhm-cm, producción de sílice en la salida de <5ppb, con una recuperación del 90% al 95%, presión de alimentación de 45 a 100 psi

**VALOR UNITARIO: \$ 56,215.00 USD**



### Instrumentos

Indicadores de flujo de salida, concentrado en la entrada y salida de electrodo.  
Resistividad en la salida y conductividad de concentrado en la entrada.  
Presión diluida en la entrada, salida del concentrado  
Entrada y salida de concentrado.  
Controlador de PLC, Micrologic 1200 con puerto de comunicación para cable de red y convertidor net-ENI para comunicación con computadora, la cual el cliente deberá de considerar el software RSVIEW, así como la ingeniería para configurar las señales de Ethernet, en su computadora

### Parámetros de operación

Calidad producida en la salida	> 16 MOhm-cm
Calidad producida de sílice en la salida	Down to < 5ppb
Recuperación	90-95%
Temperatura	40 a 100 oF (5 to 38 oC)
Gota diluida de presión	20 to 35 psi (1.4 to 2.4 bar.)
Salida de voltaje	480 60Hz, 400 50Hz or 60Hz

### Requerimientos del Agua de Alimentación.

Total Intercambio Aniónico (TEA) incluye CO<sub>2</sub> < 25.0 ppm  
(as CaCO<sub>3</sub>)  
Presión de alimentación: 45 a 100 psi (3.1 to 6.9 bar.)  
PH 5 – 9  
Dureza < 0.5 ppm (as CaCO<sub>3</sub>)

13 Avenida 13-23, Zona 10 Okland 01010 Guatemala, C.A.  
Teléfono: 298-8392 Telefax 368-1964 Skytel: 360-0000 PIN 502-4243  
e-mail: osmosisa@itelgua.com



## **OSMOSISTEMAS** **DE CENTROAMERICA, S. A.**

Silica (Reactiva) < 0.5 ppm  
SDI (15 min) < 1  
TOC.< 0.5 ppm  
Cloro total < 0.05 ppm  
Fe, Mn, H2S<0.01 ppm

### **Material de Construcción**

Estructura:	Pintado en Acero al Carbón
Capacidad de la tubería:	150 psi (10 bar) PP
Tubería de concentrado:.	Cedula 80 (PN 16) PVC
Flanges:	ANSI (DIN opcional)
Bomba	Centrifuga Multietapas
Bomba de salmuera:	Solenoide
Rectificador	NEMA 3R
Panel de Control:..	NEMA 4
Certificación	CE, UL, CSA

7-. Llave en mano (Instalación con materiales de interconexión hidráulica y eléctrica así como la soportería, capacitación y puesta en marcha) se requieren de 6 a 8 días. Incluye viáticos.( alimentación y transporte, el cliente proporcionara estancia para 5 personas) no incluye ninguna obra civil ni permisos especiales de construccion.

**VALOR: \$ 13,000.00 USD**



**OSMOSISTEMAS**  
**DE CENTROAMERICA, S. A.**

## RESUMEN DE PRECIOS

• Bomba de alimentación	\$ 2,635.00
• Filtros de arena	\$ 23,076.00
• Filtros de carbón	\$ 14,734.00
• Filtros suavizadores	\$ 17,334.00
• Dos osmosis inversa para 30 gpd cada maquina	\$ 108,062.00
• Maquina E-CELL	\$ 56,215.00
• Llave en mano y puesta en marcha del equipo	<u>\$ 13,000.00</u>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 235,056.00</b>

## CONDICIONES:

- Forma de pago: 60% de anticipo, 25% al aviso de embarque y 15% contra entrega
- Estos precios son INCOTERMS 2000, DDU su planta.
- Pagos efectuados en cheque en dólares americanos o transferencia cablegrafía a nuestro banco.
- Tiempo de entrega de 2 a 3 meses a partir de la orden de compra y anticipo.

## GARANTIA:

OSMOSISTEMAS garantizan los equipos propuestos contra defectos de fabricación, de los equipos hasta por un año, siempre y cuando se operen dentro de las normas establecidas de funcionamiento dentro de los manuales de operación proporcionados.

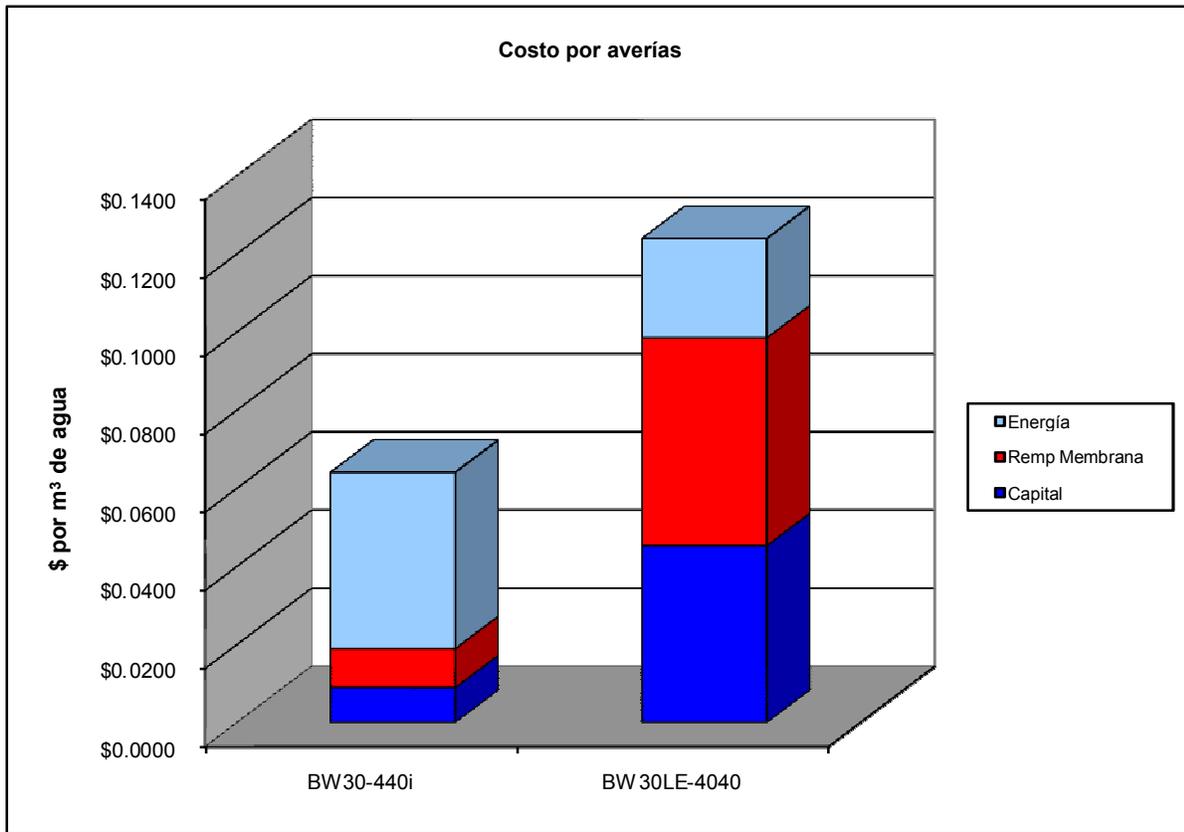
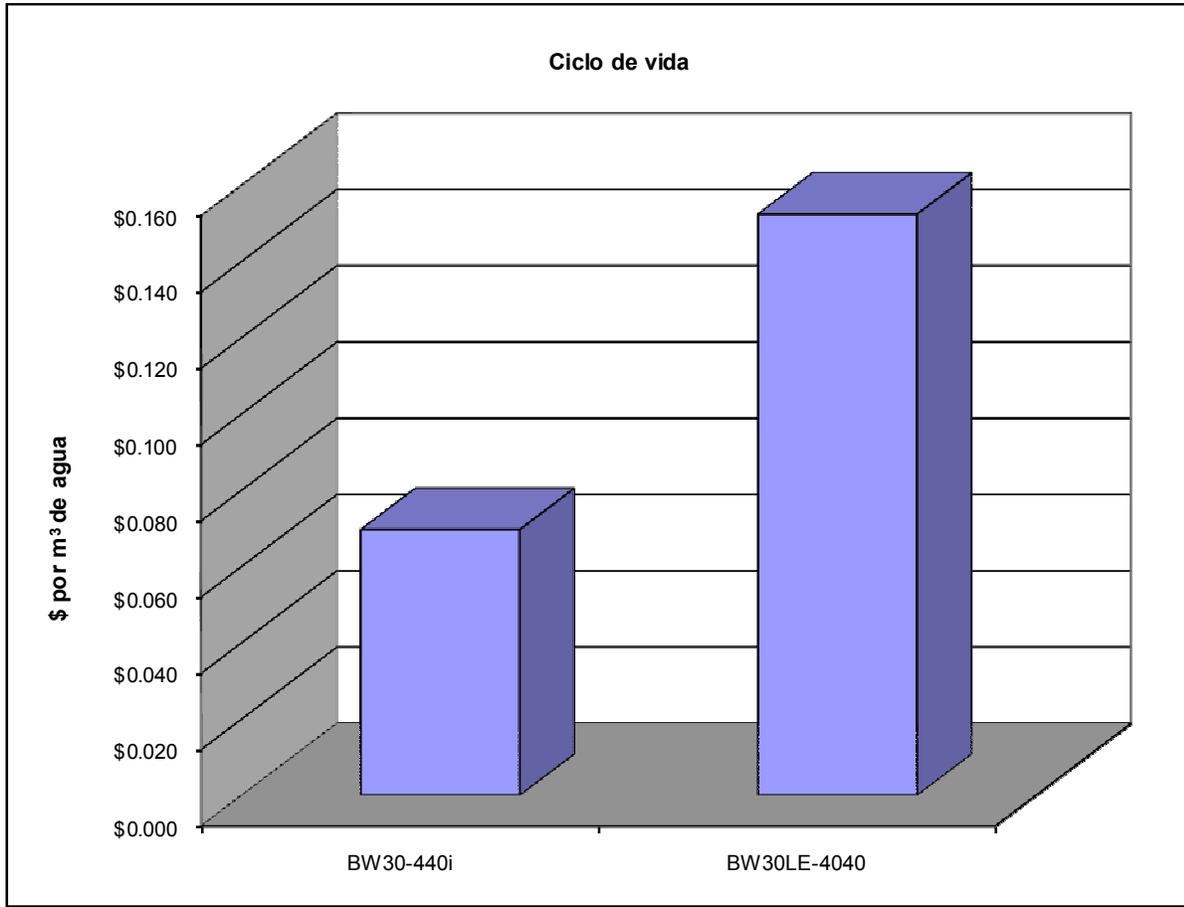
# EVA (Element Value Analysis) for FILMTEC™ Products

FilmTec Corporation - A wholly owned subsidiary of The Dow Chemical Company

Color amarillo = Entrada de ROSA

Color verde = Entrada del usuario

	Sistema propuesto	Comparación	Diferencia
<b>Producción</b>	<b>BW30-440i</b>	<b>BW30LE-4040</b>	
Producción de agua del sistema (m <sup>3</sup> /h)	6.25	6.25	
Recuperación del sistema (%)	55.0	65.0	
Presión de alimentación del paso 1 (bar)	8.9	5.9	
Presión del concentrado del paso 1 (bar)	7.2	3.9	
Recuperación del paso 1 (%)	55	65	
Eficiencia de la energía recuperada en el paso 1 (%)	0	0	
<b>Costos de capital</b>			
Cajas de presión	1	4	
Elementos totales en el sistema	6	32	
Costo por elemento	\$650	\$650	\$0
Costo por cajas de presión	1000	1000	
Costos de los elementos	\$3,900	\$20,800	
Costos por cajas de presión	\$1,000	\$4,000	
Capital	\$4,900	\$24,800	(\$19,900)
Capital/(m <sup>3</sup> )	\$0.0090	\$0.0453	
<b>Costos operacionales</b>			
Años	10	10	
Intereses %	10%	10%	
<b>Potencia</b>			
Potencia de bombeo (kW)	3.5	2.0	
Energía específica de la bomba (kWh/m <sup>3</sup> )	0.563809	0.317758	
Energía recuperada de la salmuera (kWh/m <sup>3</sup> )	0.00	0.00	
Consumo de energía neta (KWh/m <sup>3</sup> )	0.564	0.318	
Costos por potencia (\$/kWh)	0.080	0.080	
Costos de energía neta (\$/m <sup>3</sup> )	0.0451	0.0254	
Costos de energía neta (\$/año)	\$2,469	\$1,392	
Gasto de energía, VPN (\$)	\$15,173	\$8,552	
Gasto de energía (\$/m <sup>3</sup> )	\$0.0451047	\$0.0254206	\$0
<b>Costos de membrana</b>			
Tasa de reemplazo	13%	13%	
Precio de reemplazo (\$/elemento)	\$700	\$700	
Costos por reemplazo (\$)	\$546	\$2,912	
Reemplazo de membranas, VPN (\$)	\$3,355	\$17,893	(\$14,538)
Gasto de reemplazo de membrana (\$/m <sup>3</sup> )	\$0.0100	\$0.0532	
<b>Costos operacionales, VPN (\$)</b>	<b>\$18,528</b>	<b>\$26,445</b>	<b>(\$7,900)</b>
<b>Costos operacionales, por m<sup>3</sup></b>	<b>\$0.055</b>	<b>\$0.079</b>	<b>(\$0.0235)</b>
<b>Costo del ciclo de vida, VPN (\$)</b>	<b>\$23,428</b>	<b>\$51,245</b>	<b>(\$27,817)</b>
<b>Costo del ciclo de vida (\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>\$0.070</b>	<b>\$0.152</b>	<b>(\$0.083)</b>



**Anexo L: Parámetros de las descargas residuales (decreto 33-95).**

**Extracto del Decreto Número 33-95: Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias.**

**CAPITULO VII: DE LAS DESCARGAS LIQUIDAS DIRECTAS INDUSTRIALES Y AGROPECUARIAS A CUERPOS RECEPTORES.**

Artículo 43: Las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las Centrales Termoeléctricas Convencionales, deberán cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos a continuación:

<b>PARÁMETROS</b>	<b>RANGOS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO</b>
Temperatura (°C)	50
PH	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	60
DBO (mg/l)	90
DQO (mg/l)	200
Cobre (mg/l)	0.8
Fósforo Total (mg/l)	5
Zinc (mg/l)	2.0
Bifenilos Policlorados (mg/l)	Ausente
Grasas y Aceites (mg/l)	20
Hidrocarburos (mg/l)	2

Fuente: La Gaceta Diario Oficial. 1996. Nicaragua.