3.11 Comportamiento de la Salmuera al Evaporarse

Considerando que la salmuera es un sistema con al menos cuatro iones disueltos, la cristalización que se logra al llevarse a cabo la evaporación tiene un comportamiento definido mediante el diagrama de Janecke, del sistema NaCl-KCl que se muestra más posteriormente.

Para este caso se utilizó como referencia el sistema KCl-NaCl a 75°C, ya que en el segundo efecto del evaporador, donde se satura la disolución y comienza la cristalización, se tiene una temperatura cercana a los 75°C.

Los detalles de los cálculos se muestran resumidos de la siguiente manera:

La salmuera diluida (10%) se representa en el punto "0" del diagrama de fases de la figura 3.2, localizándose este punto dentro de la zona donde predomina el NaCl; a partir de este punto del diagrama, la evaporación de la salmuera llevará hasta alcanzar la línea de saturación A-B, con lo que desde el punto inicial "0" el desplazamiento

será a lo largo de la línea imaginaria "0-Q" cristalizando inicialmente sólo NaCl. A partir de este instante evaporación obligará a que el desplazamiento ocurra a lo largo del segmento Q-C, para dar lugar a la cristalización de KCl en forma simultánea cuando el punto C sea alcanzado. Si se continúa la evaporación, se podrá finalmente llegar punto "P" en donde ambos compuestos cristalinos se hallarán sin aqua y en la misma proporción molar en que se encontraban en la salmuera inicial. Es en este último tramo cristalización en se produce también de el que la separación de K Na(SO₄)₂.

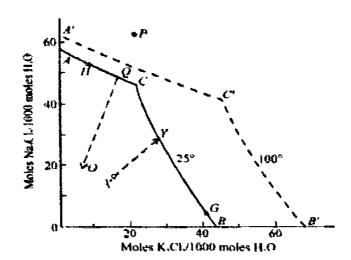


FIGURA 3.2 Diagrama de Fases que Muestra la Cristalización desde una Disolución que Contiene NaCl y KCl, a 25 y 100 °C

3.12 Calculo del Sistema de Evaporación

Para efecto del balance térmico no se consideraron las pérdidas por radiación, ni se incluyó en los cálculos el beneficio del vapor de los condensados del 1° y 2° efectos. Para dar validez a las consideraciones se recomienda aislar los equipos forrandolas con 2" de lana mineral.

Se analizaron dos alternativas de flujo de alimentación; en paralelo y en contracorriente, seleccionándose el flujo en contracorriente por requerir menor consumo de vapor, no obstante que el sistema en paralelo reduce el efecto de la corrosión originado por la salmuera concentrada caliente.

La concentración de sólidos en el 1^{er} efecto se fijó en un 15% en peso, pudiendo aumentarse ó disminuirse mediante el control del avance al asentador. El valor fijado se estableció para tener suficiente licor en el sobreflujo del asentador, lo que permitirá obtener una adecuada separación de los cristales en la pierna de elutriación.

Para calcular los aumentos del punto de ebullición se consideró salmuera de NaCl saturada para todos los efectos, aunque en el 3^{er} efecto no se alcance la saturación. Esto compensa las caídas de temperatura del vapor del domo superior del evaporador, al calefactor del siguiente efecto, que normalmente se diseña con 1°F de variación.

Cálculos para verificación de áreas:

1 ^{er} Calefactor		
ΔT_1	21.6	°F
λ	956	BTU/1b
Vapor	8,742	lb/hr
Ui	300	BTU/hr-ft-°F

$$Q = U A \Delta T$$
; $Q = M \lambda$

$$A = M \lambda / U \Delta T$$

 $A_1 = (8,742)(956)/(300)(21.6) = 1,290 \text{ ft}^2$

2 ° Calefactor		
Δ T	20.9	°F
λ	982	BTU/lb
Vapor	6,640	lb/hr
U_1	250	BTU/hr-ft ² -°F

$$Q = U A \Delta T$$
; $Q = M \lambda$

$$A = M \lambda / U \Delta T$$

 $A = 6,640)(982)/(250)(20.9) = 1,248 ft^{-1}$

3 ° Calefactor		
ΔT₃	14.6	°F
λ	1,003	BTU/lb
Vapor	6,115	lb/hr
	250	BTU/hr-ft ² -°F

$$Q = U A \Delta T$$
; $Q = M \lambda$

$$A = M \lambda / U \Delta T$$

$$A_3 = (6,115)(1,003)/(250)(14.6) = 1,680 \text{ ft}^2$$

Área promedio = (1,290 + 1,248 + 1,680)/3 = 1,406 ft² Área de cambiadores adquiridos = 1,460 ft² Factor de sobrediseño = 1,460/1,406 = 1.04 = 4%

Las propiedades de los fluidos utilizados en los cálculos anteriores fueron:

		Vapor		Líq	uido
Efecto	T	Vol. Esp.	Densidad	Vol. Esp.	Densidad
	°F	ft³/lb	lb/ft ³	ft³/lb	lb / ft³
1 °	173	39.0	0.0256	1.17	69.9
2°	212	88.0	0.0114	1.30	81.1
3°	142	180.8	0.0055	1.33	83.0

TABLA 3.4 Propiedades de los Fluidos Utilizados en los Cálculos

3.13 Evaluación de los Equipos

Con los resultados obtenidos en los cálculos de evaporación se procedió a evaluar los equipos adquiridos, con el objeto de verificar su grado de adaptación a las nuevas necesidades de operación, enfocándose la evaluación básicamente a los calefactores y cuerpos de los evaporadores en los siguientes conceptos:

a) Verificación del área de los intercambiadores:

El área calculada cumple exactamente con el equipo adquirido.

b) Diámetro de los cuerpos:

Se determinó que los diámetros requeridos son menores que los adquiridos. El equipo se halla holgado.

c) Altura de los cuerpos:

A la salida del calefactor se debe mantener una sumergencia mínima en el nivel del evaporador a fin de evitar la ebullición en los tubos.

Así mismo, es necesario conservar una altura mínima del nivel del líquido en la parte recta del evaporador para evitar arrastre de líquido por el vapor que va al siguiente calefactor.

El equipo adquirido cumple, por sus dimensiones con estos requerimientos y enseguida se detallan las características de la centrífuga y de la torre de enfriamiento.

Los datos complementan a los cálculos hechos arriba y sirven para fines de adquisición en caso de que se parta de un equipo nuevo o que deba diseñarse.

3.13.1 Especificaciones de la Centrífuga

Alimentación

Flujo	8.2 GPM	2.7 TPH
Conc. de Sólidos	50%	
Densidad del Magma	1.43 kg/L	(estimada).
Densidad Solución	1.33 kg/L	(estimada).
Temperatura	55°C	

Sólidos separados

Flujo	1.37 TPH	3,000 lb/hr
Conc. Sólidos	98%	
Densidad Magma	1.43 kg/L	(estimada).
Humedad	2.0%	

Datos del equipo

Tipo	Pusher	
Cuerpo	Acero al Carbón.	
Canasta	Monel ó Ac. Inoxidable 316	
Abertura entre rejillas	0.009'' - 0.012''	
Tubo de Alimentación	Monel ó Acero Inoxidable 316	
Accionamiento	Poleas y Bandas	
Diámetro recomendado	13" mínimo	
Marca Recomendada	Baker Perkings ó Bird	

3.13.2 Especificación de la Torre de Enfriamiento

Flujo de agua	1,080 GPM	
Temp. agua entrada	37 ° C	
Temp. agua salida	30 ° C	
Temp. bulbo húmedo	25.6 ° C	
Lugar de operación	Monterrey, N. L.	
Carga térmica	6.8 x 106 BTU/hr	
Marca	REMISA	
Modelo	SFG-8-3-10R	
Material fabricación	Fibra de vidrio / resina poliéster	
Accesorios	Relleno y eliminador de rocío PVC	
Ventilador	Motor =10 H.P.840 RPM, 440V 3 fase	
Cantidad	2 Torres de 540 GPM c/u	

3.14 Instrumentación y Equipos de Control

Los criterios para el arreglo del equipo se basan en a) los cálculos efectuados para determinar la sumergencia de la salida del calefactor, b) la decisión de operar en dos pasos de calefactores y, c) el diseño propio de cada evaporador. Se considera además el sentido de los flujos, de manera que se tengan las mínimas distancias entre origen y destino de cada corriente. La instrumentación sugerida por cada efecto se resume en la tabla 3.5.

Sensor de nivel tipo diafragma (2 tomas de 2" Φ en cuerpo)			
Controlador de nivel (en panel)			
Válvula control de nivel en alimentación de salmuera			
Indicador de presión en domo de cada efecto (manómetro)			
Indicador de temperatura entrada de salmuera a cambiador			
Indicador de temperatura salida de salmuera de cambiador			
Cristal de nivel de condensado en cambiador (tubo)			
Indicador de presión cuerpo de cambiador (manómetro)			
Rotámetro para agua de sellos de bombas de recirculación			
Indicador de presión agua de sellos de bombas de			
recirculación.			
Switch de amperaje para bote en bombas de recirculación			
Transmisor de amperaje para bote en bombas de recirculación			
Mirillas en cuerpo del evaporador			
Cristal de nivel para tanque flash (tubo)			
Válvula control de presión de seguridad del cuerpo del			
cambiador			
Temperatura de salida de salmuera del efecto			

TABLA 3.5 Instrumentación Propuesta por Efecto

La instrumentación general para la planta se resume en la tabla 3.6.

Medidor de flujo tipo placa de orificio para vapor motriz Controlador de flujo de vapor Válvula de control de flujo de vapor motriz Indicador de temperatura de vapor motriz Indicador de presión vapor motriz (manómetro) Sensor de conductividad para condensado secundario Controlador para retorno de condensado secundario Válvula de tres vías para retorno condensado secundario Indicador de temperatura H₂O fría a condensador barométrico Indicador de temperatura salida agua de condensador barométrico Indicador de presión condensador barométrico Indicadores de presión (3) en domo de evaporadores Indicadores de presión en descarga de todas las bombas Indicador de temperatura en salmuera de alimentación Presión máxima a centrífuga Válvula de control presión centrífuga

TABLA 3.6 Instrumentacion General Propuesta

3.15 Operación de la planta

Los parámetros de operación se muestran en cifras muy cercanas de los valores óptimos. La experiencia del tiempo será la que determine cuál será la mejor práctica de operación, de manera que se tendrán que efectuar ciertos ajustes a los datos que aquí se exponen.

3.15.1 Variables de Operación

PRIMER EFECTO (EF-01, HT-01)

- Presión en el Intercambiador HT-01: 8.3 psi
- Temperatura entrada al Intercambiador HT-01: 100°C
- Temperatura salida al Intercambiador HT-01: 102°C
- Agua de sello a bomba de recirculación BR-01: Abierta
- Nivel de operación en Evaporador EF-01: Entre 1ª y 2ª mirilla (Deberá mantenerse cubriendo la mirilla inferior mediante ajuste del controlador LIC-101)
- Presión en cuerpo del Evaporador: -7.3" Hg (vacío)
- Amperaje bomba de recirculación: 32 Amp (max)
- Flujo de vapor a Intercambiador HT-01 3.16 Tons/hr
 (ajustado mediante el controlador FIC-401)

 Verificar que los condensados estén fluyendo correctamente del cambiador HT-01 al tanque de Flash TF-01; observar que el cristal de nível LG-101 no se encuentre inundado.

SEGUNDO EFECTO (EF-02, HT-02)

- Presión en el Intercambiador HT-02: 7.8" Hg
- Temperatura entrada al Intercambiador HT-02: 78.4°C
- Temperatura salida al Intercambiador HT-02: 80.0°C
- Agua de sello a bomba de recirculación BR-02: Abierta
- Nivel de operación en evaporador EF-02: Entre 1ª y 2ª mirilla (Deberá mantenerse cubriendo la mirilla inferior mediante ajuste del controlador LIC-201)
- Presión en cuerpo del evaporador: 19.5" Hg (vacío)
- Amperaje bomba de recirculación: 32 Amp (max)
- Verificar que los condensados estén fluyendo correctamente del cambiador HT-02 al tanque de Flash TF-02; observar que el cristal de nivel LG-201 no se encuentre inundado.

TERCER EFECTO (EF-03, HT-03)

- Presión en el Intercambiador HT-03: 19.9" Hg
- Temperatura entrada al Intercambiador HT-03: 61.0°C

- Temperatura salida al Intercambiador HT-03: 62.5°C
- Agua de sello a bomba de recirculación BR-03: Abierta
- Nivel de operación en evaporador EF-03: Entre 1ª y 2ª mirilla (Deberá mantenerse cubriendo la mirilla inferior mediante ajuste del controlador LIC-301)
- Presión en cuerpo del evaporador: -24" Hg (vacío)
- Amperaje bomba de recirculación: 32 Amp (max)
- Verificar que los condensados estén fluyendo correctamente del cambiador HT-03 al tanque de Flash TF-03; observar que el cristal de nivel LG-301 no se encuentre inundado.

3.15.2 Manejo de Condensados

Verificar que la presión de vapor motriz para las bombas de émbolo tenga como mínimo 50 psi, ya que de otra manera no habrá un eficiente bombeo de condensados.

Observar los cristales de nivel de los tres tanques de flash TF-01, 02 Y 03; si se observa nivel significa que el condensado no se está desalojando adecuadamente.

Los condensados del primer Intercambiador, HT-01, se denominan "Condensados Primarios" ya que provienen del vapor vivo de la caldera, sin embargo, se recomienda revisar su contenido de sólidos disueltos en cada turno.

Los condensados del 2° y 3° Intercambiador se denominan "Secundarios" y pasan a través del detector de conductividad CIT-402, el cuál está en lazo con el controlador CIC-402 y la válvula de 3 vías CCV-402. Como primera medida se ajustará el control a 50 mhos, de tal forma que los condensados obtenidos por debajo de este valor se juntarán con el Condensado Primario, en el tanque TCP-01, que servirá para alimentar a la caldera. Los condensados obtenidos a valores mayores de 50 mhos se desviarán al tanque TCS-01, de donde se tomará agua para sello de bombas y para el repuesto de la torre de enfriamiento. Se deberá verificar periódicamente esta agua para asegurar que no se tiene alta contaminación por tubos rotos ó altos arrastres de los evaporadores.

SISTEMA DE CONDENSACIÓN:

- Vacío en succión de bomba de vacío: -24" Hg
- Temp. agua de enfriamiento verano (TI-402): 30°C
- Temp. agua de enfriamiento invierno: 20°C

• Amperaje bomba de recirculación:

- 32 Amp (máx)
- Temp. pozo caliente (max. Cap) 5°C 0°C sobre pozo frío

El agua de recirculación deberá analizarse periódicamente para determinar su tendencia incrustante.

Se recomienda observar el nivel de la pierna de sello HW-01; si su nivel aumenta por encima de lo normal, o tiende a derramar, significa que los distribuidores de la torre de enfriamiento están incrustados.

3.15.3 Separación de Cristales de Sal

Los sólidos descargados del primer efecto se concentrarán en el asentador hasta un 50% en peso (aproximadamente 70% en volumen). Cuando se tenga la concentración deseada de sólidos se bombeará el magma a la centrífuga.

Se deberá cuidar de mantener una adecuada concentración de sólidos en la descarga del asentador, a fin de evitar operar intermitentemente la centrífuga. Para mantener el equilibrio en el tanque de sobreflujo TRI-01 entre lo que recibe y descarga, se ajustará el flujo de la

bomba BRI-01 por medio de la válvula en la descarga de la bomba.

Puede ocurrir que cuando la sal descargada de la centrífuga se encuentre muy húmeda, o empiece a vibrar el equipo, la malla esté incrustada, por lo que se deberá recircular la alimentación al asentador, procediendo a lavar la malla.

3.16 Concentración de Sólidos Primer Efecto

El porcentaje de sólidos que se recomienda manejar en el licor recirculado es de 10 a 25% en volumen, con objeto de evitar incrustación o sedimentación de sólidos en los tubos de los calentadores, así como erosión excesiva en las tuberías y equipos.

La concentración de sólidos en "la pierna de elutriación" se mantendrá de 25 a 35% en volumen, ajustándose dependiendo de la capacidad a que se opere y la granulometría obtenida.

El flujo calculado para obtener una adecuada granulometría de la sal cristalizada será de 8.2 GPM. Sin embargo, dependiendo de las características de la sal, este flujo se regulará mediante la línea que descarga a la tubería de licor recirculado.

CAPITULO 4

INSTALACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN EN LA PLANTA

4.1 Normas Generales de Seguridad

Las instalaciones de la planta evaporadora serán de estructuras metálicas y de concreto, con techos de lámina de asbesto de dos aguas, con muros también de lámina. Los edificios de la planta serán construidos con mampostería y concreto, muros de tabique de diferentes niveles de altura que van de acuerdo con la naturaleza de las actividades que se desempeñen. Los pasillos andadores serán suficientemente amplios para permitir la circulación del personal y montacargas; los pisos serán de concreto y en algunos sitios con cubierta de pavimento asfáltico.

En general las instalaciones contarán con las dimensiones y medidas de seguridad e higiene en techos, paredes, pisos, rampas, escaleras, pasadizos, vías y plataformas y estarán diseñadas en forma correcta, en base a lo que dicta el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Las instalaciones tendrán una distribución y configuración tal que no represente problema alguno desalojar al personal en forma rápida de las áreas de trabajo en caso de una emergencia.

Las partes de los equipos que se encuentran en movimiento contarán en general con dispositivos de seguridad, como en el caso de engranes, bandas, flechas y transmisiones.

El equipo o maquinaria que estará en movimiento y que demanda lubricación frecuente estará provisto de protección. Los equipos y recipientes estarán conectados a tierra en donde se manejen sustancias inflamables o explosivas.

La zonas en las que haya equipo de alta tensión tendrán los letreros alusivos indicando acceso restringido.

Los dispositivos de arranque y paro de motores y los dispositivos de control de energía de equipos eléctricos tendrán identificación clara sobre el equipo al cual energizan.

Las tuberías, accesorios y válvulas de los sistemas serán seleccionados siguiendo las especificaciones necesarias en cuanto a materiales, anclaje, instalación y señalamiento.

Se instalarán dos chimeneas, una para la caldera y otra para el horno secador de sal; ambas contarán con plataforma y puerto de muestreo.

4.1.1 Diseño y construcción

En forma general todos los elementos de concreto estarán diseñados de acuerdo al reglamento para construcciones de concreto reforzado ACI-318-71 y diseñados

con esfuerzos de trabajo, según especificaciones de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) ⁶, con electrodos E-60 y E-70 con opción de ser radio grabada en los puntos críticos en el momento de la construcción, así como otros reglamentos relativos.

El material utilizado será en lo general acero estructural ASTM-A36 (FY = 2530 kg/cm²), excepto para ángulos menores de 3" en que se utilizará acero A-7. Los tornillos usados serán del estándar ASTM-A-307 ²7 y de alta resistencia ASTM-A-305, los tornillos serán fijados en general a las columnas de concreto con taquetes de expansión.

El acero de refuerzo esta constituido por varillas tipo GR duro (3-12) ASTM-A-615 (FY = 3000 kg/cm); varilla GR suave (2 y 3) ASTM-A-615 (FY = 2500 kg/cm²); malla electro-soldada ASTM-A-185 (FY = 5000 kg/cm²). Las varillas que crucen con huecos que no se corten sólo se desviarán para librar dichos huecos.

El cemento a utilizarse en toda la construcción será Pórtland tipos I y II, ASTM-C-150. La resistencia a la compresión (a 28 días) será de 210 kg/cm² para cimentaciones y de 250 kg/cm² para columnas, vigas y losas de entrepiso, en proporciones como mínimo de 1:1 y 1:3, proporcionado por volumen, mezclado mecánicamente y vibrado al colar.

Para efectos de continuidad eléctrica, entre las varillas se soldarán en cada cruce de trabe o columna 4 puntos en la parte superior y 4 en la parte inferior, en todas las caras de los lados.

Las anclas estarán diseñadas con un esfuerzo de trabajo de 980 kg/cm² en la tensión y de 700 kg/cm² en corte, sobre el área bruta (área no roscada del cuerpo del ancla). Las anclas para equipo estarán colocadas con camisas que se rellenan con mortero después de instalado el equipo. La distancia libre entre el ancla o la camisa y el paño de la alimentación no será menor a 5 cm en la base ni menor a 6 cm en ambos lados.

Las placas de empalme desarrollarán el 100% de la capacidad de la compresión de la columna y cuando menos un 60% de la capacidad de tensión.

Los contravientos serán instalados de tal manera que se minimice el efecto de torsión, satisfaciendo en la mayoría de los casos las necesidades de operación y mantenimiento de los equipos.

La altura sobre las plataformas y pasillos no es menor a 2.2 m en la mayoría de las áreas de la planta.

Las losas de concreto sobre el suelo en la mayoría de los casos serán de 10 cm de espesor como mínimo, reforzadas con una malla electro-soldada de 6x6 y con una pendiente de cuando menos 0.5% al sistema de drenaje.

Las cimentaciones de los equipos que puedan generan ruido y/o vibraciones serán diseñadas de manera que eviten la resonancia en el modo fundamental y estarán desligadas de las cimentaciones de los edificios y losas de los pisos mediante juntas de expansión asfáltica.

4.1.2 Distribución por Áreas

La planta evaporadora contará con las siguientes áreas de operación:

Cuarto de control y laboratorio

Área de la caldera

Área de tanques almacén y torres de enfriamiento

Área de efectos de evaporación

Área de secado

Bodega de sal

Ver arreglo general de la planta en la siguiente página.

4.1.3 Descripción del Proceso

La planta de evaporación consiste en un sistema de triple efecto a contracorriente (esto significa que el vapor motriz se alimenta en el primer efecto EF-01 y fluye hacia el tercero, mientras que la salmuera es alimentada en el último efecto EF-03 y avanza hasta el primero), así mismo el tercer efecto EF-03 se opera a vacío mediante la bomba de vacío BV-01.

Los evaporadores son del tipo de recirculación forzada con cambiador de calor de tubo y coraza externo horizontal, teniendo el siguiente equipo cada efecto:

Evaporador; Conocido como efecto EF-01,02,03, en ellos ocurre la separación del vapor de agua de la disolución.

Intercambiador; De tipo tubo y coraza, en ellos se lleva a cabo el intercambio de calor entre el vapor (que circula fuera de tubos) y la disolución salina en recirculación por dentro de ellos. HT-01,02,03.

Bomba de

Recirculación; Sirve para mantener la recirculación de salmuera en cada efecto y así lograr la evaporación del agua BR-01,02,03.

Bomba de Avance; Sirve para enviar la salmuera al siguiente efecto o al asentador TA-01 y continuar concentrándola BA-01,02,03.

Tanque de Condensado; Sirve para "flashear" (operar a menor presión) el condensado de cada cambiador; de esta manera se recupera vapor, el cual se alimenta al efecto siguiente, y además se obtiene condensado que se retorna a la

caldera. El excedente de condensado se usa como aqua de servicios. TF-01,02,03.

La salmuera diluida al 10% se alimenta al tercer efecto EF-03, de aquí pasa al segundo efecto EF-02 para continuar concentrándose hasta obtener aproximadamente 5% de sólidos y por último se envía al primer efecto EF-01 donde se cristaliza aún más obteniendo una disolución con 15%-20% de sólidos, la cual se conoce como magma (disolución con cristales); ésta se recibe en el asentador TA-01 y los sólidos sedimentados se bombean a la centrífuga CF-01 para eliminarles la humedad y obtener los cristales como producto terminado.

El vapor motriz de 8-10 psi (libras por pulgada cuadrada), se alimenta al primer efecto EF-01; al transferir la energía a la salmuera se condensa y pasa al tanque de condensados TF-01, etapa en la que "flashea" (opera a menor presión), enviando el vapor al segundo efecto. Al líquido obtenido se le conoce como condensado primario, el cual es conducido al tanque de condensado primario TCP-01 para su bombeo a la caldera.

Para el segundo efecto EF-02 el proceso es similar; el vapor proveniente del primer efecto (EF-01) a una presión de -7.3" Hg (vacío) alimenta al segundo cambiador HT-02 y al transferir la energía a la salmuera se condensa pasando al tanque de condensados TF-02. En esta etapa "flashea" (opera a menor presión) enviando el vapor al tercer efecto. Al líquido obtenido se le conoce como condensado secundario, el cual se analiza; si cumple con una baja conductividad se le transfiere al tanque de condensado primario (TCP-01), o de lo contrario pasa al de condensado secundario (TCS-01).

En el tercer efecto (EF-03) el vapor proveniente del segundo efecto (EF-02), a una presión de -19.5" Hg (vacío), alimenta al tercer cambiador (HT-03). Al transferir la energía a la salmuera se condensa y pasa al tanque de condensados (TF-02), en donde "flashea" (opera a menor presión), enviando el vapor al condensador barométrico CB-01. El líquido obtenido también se conoce como condensado secundario, el cual se analiza después de mezclarse con el condensado del segundo efecto y si cumple con baja conductividad se pasa al tanque de condensado primario (TCP-01), o de lo contrario pasa al de condensado secundario (TCS-01).

La operación de la planta se realiza en forma continua y el control es semiautomático.

Almacenamiento.- El producto sólido se apilará en el almacén de producto terminado para su posterior ensacado, comercialización y/o disposición final.

4.1.4 Materias Primas

La Salmuera diluida que se recibe de la planta de cartoncillo será transportada a través de tuberías de 2" de polietileno de alta densidad, bridada en las uniones, utilizando una bomba de 7.5 HP de potencia y 3600 rpm, a intervalos de tiempo y flujo variables dependiendo de la generación de salmuera en la planta y de la capacidad de recepción de la planta evaporadora en cada momento.

Análisis de la salmuera diluida (base iones)

Sodio	50.9	g/L
Potasio	10.2	g/L
Sulfatos	14.4	g/L
Cloruros	47.8	g/L
Densidad	1.10	kg/L

4.1.5 Productos

El producto sólido se colectará en supersacos de una tonelada, para su almacenamiento en la bodega de la planta evaporadora, empleando un montacargas de 1.5 toneladas de capacidad. Posteriormente el producto se embarcará a granel para su comercialización final en camiones de volteo en lotes de 10 toneladas.

El análisis resulta variable debido a la naturaleza de la salmuera y a las condiciones de equilibrio del proceso en cada momento. Además, debido a que la salmuera a tratar es una mezcla de sales, no se tiene ninguna referencia en cuanto al hábito de cristalización de éstas y el tamaño esperado del cristal.

4.1.6 Subproductos

El proceso no cuenta con generación de subproductos que requieran algún tipo de disposición final.

4.1.7 Generación de Residuos

Los equipos de la planta que requieren lubricación con aceite serán supervisados por personal de mantenimiento, quienes al hacer los cambios de aceite necesarios colectarán el aceite gastado y coordinarán su disposición.

4.1.8 Almacenamiento de Materias Primas

La salmuera proveniente de la planta papelera se almacenará en un tanque de 150 m³ de capacidad. Este tanque estará construido de acero al carbón y tendrá la identificación TAS-01, estando ubicado en un dique de contención a la intemperie.

Los reactivos para el laboratorio y los aditivos para la caldera se guardarán en los recipientes originales provistos por los fabricantes. Éstos a su vez estarán colocados en gavetas especiales ubicadas en el cuarto de control-laboratorio.

4.1.9 Almacenamiento de Producto Terminado

La sal proveniente del horno secador se recibe en una tolva para de allí vaciarse en supersacos de una tonelada. El producto se almacenará en la bodega del extremo sur de la planta en espera de ser cargada a granel en camiones.

4.2 Manejo del Agua

4.2.1 Agua Cruda

En la planta evaporadora únicamente se requerirá agua cruda en el arranque inicial, ya que una vez en operación se contará con el agua procedente de la salmuera evaporada, produciendo incluso un excedente de agua que se empleará en otras áreas productivas de la empresa. Sólo se utilizará agua cruda para servicios de laboratorio, para efecto de limpieza.

El agua pluvial que se acumule en el dique será enviara a la fosa de captación general.

4.2.2 Agua de Enfriamiento

Ésta se utilizará en la torre de enfriamiento TE-01 y será manejada por la bomba de agua BAF-01 ó BAF-02 y en el condensador barométrico CB-01.

4.2.3 Descargas de Agua

La descarga de agua del laboratorio se enviará al tanque almacén de salmuera, para ser procesada como salmuera en los evaporadores.

El agua obtenida de la evaporación de la salmuera es enviada a la planta productiva para ser utilizada como agua de proceso.

4.2.4 Drenajes

Esta planta no contará con corriente de drenaje sanitaria, pues el agua empleada para la limpieza en el laboratorio se almacenará como salmuera para su posterior evaporación.

4.3 Energía Eléctrica y Combustibles

La energía eléctrica es la fuerza motriz para todos los equipos, se manejará un CCM (centro de control de motores) en la planta para todos los equipos de esta área.

Cada equipo de la planta contará con un arrancador en el cuarto de control. La caldera, además de tener un arrancador general en el CCM, contará con arrancadores para cada uno de sus equipos eléctricos dentro del tablero de controles. El suministro de energía para operar esta planta provendrá de la subestación que ya se encuentra en la planta productiva.

En lo que respecta al combustible empleado para operar la caldera y que también es utilizado para la flama del horno secador, se utilizará gas natural proveniente de la red de distribución de la planta productiva.

Se contará en esta línea con un medidor de flujo y una válvula de corte, para casos de emergencia.

4.4 Procedimientos

4.4.1 De Arranque General de Planta

Una vez que estén coordinadas las acciones con el resto de las áreas, y verificados todos los equipos, se asegura que la succión/descarga de bombas, entrada/salida de tanques, entrada/salida de intercambiadores, entrada/salida de filtros, etc. no se encuentren obstruidas. Las válvulas de purga deberán estar cerradas.

Sistema de Agua de Sellos:

- Verificar que el tanque de condensado secundario TCS-01 contenga suficiente agua, al menos 70% de su capacidad; de lo contrario llenar con agua de servicio.
- Poner en operación la bomba BS-01 de condensados.
- Verificar que el interruptor de baja presión PSL-01 se encuentre activado.
- Revisar que todas las bombas estén recibiendo un flujo adecuado de agua para la lubricación de los sellos, incluyendo la bomba de vacío.

 Abrir y cerrar las válvulas de agua para limpieza de mirillas en los cuerpos de los evaporadores, verificando al mismo tiempo que se tenga suficiente flujo.

Alimentación de Salmuera:

- Verificar que el tanque de salmuera contenga suficiente líquido (100 m³ como mínimo) antes de iniciar operaciones.
- Tomar periódicamente muestras de la salmuera y determinar el pH, el cual deberá oscilar entre 7.0 y 8.0, así como las concentraciones de los iones Cl⁻, Ca⁺² y SO₄⁻².
- Revisar que la pila de salmuera tenga suficiente líquido antes de iniciar operaciones de arranque, recomendándose al menos un 70% de su capacidad.
- Si la salmuera en el tanque de alimentación tiene un pH menor de 7.0, ésta deberá bombearse a la planta de acondicionamiento (Planta Húmeda) y luego volver a llenar el tanque con salmuera previamente verificada.

Operación de la Instrumentación:

Proceder a revisar que la instrumentación de la planta se encuentre en funcionamiento, conectada a la energía, así como también que exista suministro de aire para la operación de instrumentos. Revisar que todas las alarmas de los diferentes lazos de control se encuentren activadas.

Abrir las purgas de aire de los instrumentos y asegurarse que el aire se encuentre libre de humedad, aceite y partículas sólidas.

Llenado de Evaporadores con Salmuera:

Después de completar el acondicionamiento de los equipos y el arranque en vacío de las bombas, se procederá a llenar el tercer evaporador (EF-03) mediante la bomba de alimentación (BAS-01). Será hasta que el nivel del líquido llegue a la primera mirilla del cuerpo, que se verificará la correcta operación de válvula de control (LCV-301). Al completarse el llenado del evaporador EF-03 se arrancará la bomba BA-01 para llenar el segundo evaporador EF-02, vigilando la correcta operación de la válvula de control LCV-201. Lo mismo se hará el llenar al evaporador de primer efecto mediante la bomba BA-02.

Salmuera recirculada en Pierna de Elutriación:

Cuando se alcance el volumen apropiado de salmuera en el Evaporador EF-01, se arrancará la bomba BA-03 para alimentar con salmuera al tanque asentador TA-01. Al tener suficiente sobreflujo se pondrá en operación la bomba de recirculación BRL-01, de manera que se tenga un circuito

cerrado de flujo antes de comenzar la concentración de salmuera y la precipitación de sólidos.

Recirculación de Salmuera:

Cuando los evaporadores se encuentren con el nivel adecuado de salmuera se procederá a poner en operación las bombas de recirculación, arrancándolas localmente cuidando que cuenten con agua de sello y no se rebase su corriente máxima de 32 amp (motor de 25 HP).

Arrancar Sistema de Enfriamiento:

Verificar que el depósito de agua de la torre de abastecimiento se encuentre lleno y, también, que la línea de agua de repuesto proporcione suficiente caudal.

Encender los abanicos ubicados en las torres y verificar que trabajen normalmente.

Arrancar localmente una a una las bombas de agua de enfriamiento (BAF-01, BAF-02) con la succión abierta y la descarga cerrada; abrir lentamente la válvula de descarga hasta alcanzar el 80% de su amperaje máximo, permitiendo la recirculación de agua a través del condensador.

Cuando la planta se encuentre en operación normal se volverá a ajustar la válvula de descarga, ya que el vacío generado al efectuarse la condensación modificará el flujo y el amperaje de la bomba.

Arranque de Bomba de Vacío:

Verificar que la bomba de vacío no contenga agua en su interior, lo cual se logra abriendo la válvula de purga.

Ya en operación se verificará que trabaje normalmente.

Alimentación de Vapor:

A fin de prevenir golpes de ariete que puedan ocasionar daños severos a la tubería de vapor, se abrirán las purgas de ½" localizadas en los extremos y partes bajas de la línea.

Se abrirá lentamente la válvula de paso (by-pass) de la línea 8-VAP-10.100 hasta alcanzar una presión máxima de 0.5 kg/cm², verificada en el manómetro PI-401. Al empezar a salir vapor por las purgas se deberán cerrar las válvulas que fueron previamente abiertas.

Revisar las trampas de vapor en la línea y asegurar que por las mirillas se observe flujo de condensado.

Verificar que se tenga vapor disponible en las bombas del condensado BCS-01,02,03 observando que el manómetro marque 50 psi como mínimo.

Proceder con la alimentación de vapor vivo a las bombas de condensados, de manera que queden listas para bombear el condensado cuando se alimente vapor a los intercambiadores. Las válvulas de succión y descarga de las bombas mencionadas deberán permanecer abiertas.

Cerrar la válvula de paso y empezar la alimentación de vapor a la planta mediante la válvula FCV-401, fijando inicialmente un flujo de 2.0 Ton/hr mediante el controlador FIC-4.01.

Arranque de Bombas de Avance :

Acto seguido a la alimentación de vapor a la planta se pondrán en posición "automática" los controles de nivel de los evaporadores y sus válvulas de control. Se abrirán las válvulas de succión de las bombas de avance y se procederá a encenderlas, abriendo lentamente las válvulas de descarga.

4.4.3 De Paro Normal de la Planta

La indicación de paro será dada por el supervisor en turno. Cuando se haya terminado el lote de producción correspondiente al día se iniciará la secuencia de paro normal.

- 1. Cortar el flujo de vapor vivo al evaporador de Primer Efecto, cerrando la válvula de control FV-401. Cerrar la válvula manual de 6" de diámetro que se encuentra en el bypass de la misma.
- 2. Apagar la bomba de alimentación de salmuera al evaporador de Tercer Efecto BAS-01.
- 3. Mantener así el sistema hasta que se deje de producir condensado en los tres evaporadores y el condensador. Cuando ésto suceda cerrar el suministro de vapor a las bombas de condensado BCP-01, BCS-02 y 03.
- 4. Apagar las bombas de recirculación de los evaporadores BR-01,02 y 03.

- 5. Apagar las bombas de avance de salmuera BA-01,02,03; así mismo apagar las bombas BAC-01 (alimentación a centrífuga) y BRL-01 (de recirculación al primer evaporador).
- 6. Apagar la bomba de agua de enfriamiento al condensador barométrico BAF-01 .
- 7. Si en el momento se está dosificando HCl para tratamiento del agua de la torre de enfriamiento, se deberá cerrar la válvula de suministro, con el propósito de evitar que el pH del agua de la torre disminuya a niveles corrosivos. Se deberá apagar también el abanico de la torre.
- 8. Apagar la bomba BV-01 para cortar el vacío del sistema.
- 9. Proceder a apagar el resto de equipo rotatorio que esté en operación.
- 10. Se realizará la limpieza de intercambiadores de calor de acuerdo a procedimientos establecidos.
- 11. Lavar la canasta de la centrífuga para evitar incrustaciones en la malla.

12. Diluir la salmuera contenida en los evaporadores hasta alcanzar un valor de concentración por debajo de la saturación a fin de evitar la sedimentación.

4.4.4 De Paro de Emergencia

El paro de emergencia puede ocurrir en casos como:

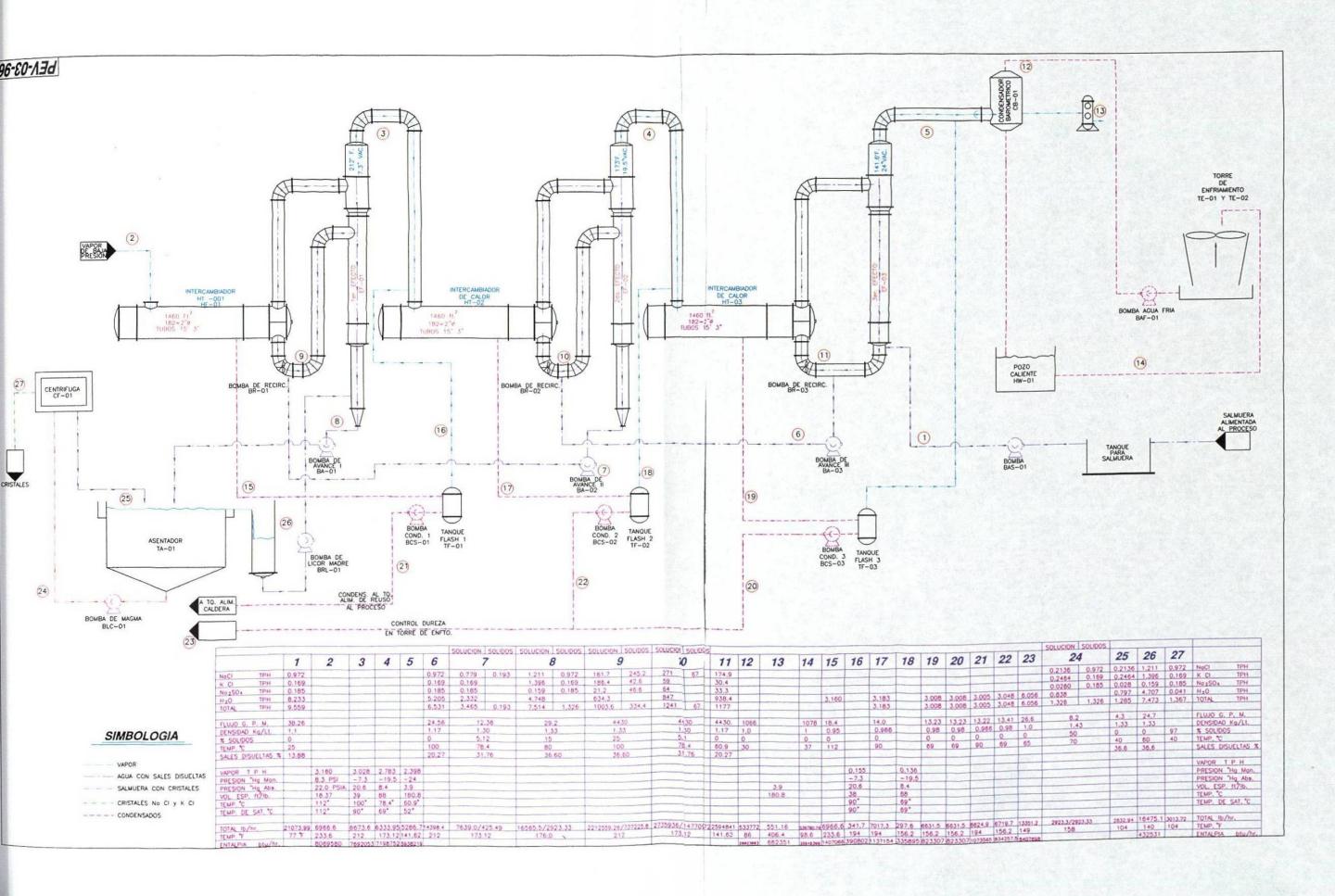
- •Presión alta en el evaporador del Primer Efecto (se abre la válvula de alivio)
- •Descontrol mayor en los niveles de los tanques
- •Pérdida del vacío
- •Arrastre de condensado por los eyectores
- •Falla eléctrica

El procedimiento de paro es exactamente igual al procedimiento de paro normal, pero es más importante la velocidad con la que se cierra la alimentación de vapor motriz al primer efecto. Es importante evaluar la magnitud de la emergencia para ver si es necesario continuar con el segundo paso del procedimiento de paro normal. Si la falla se puede corregir rápidamente, se deberá mantener el vacío

y todas las bombas en recirculación, apagando únicamente la bomba de suministro de salmuera al tercer efecto (BAS-01) y las bombas del sistema de avance y manejo de cristales (BA-01,02 y 03 BRL-01 y BAC-01). Todo ello es para que el arranque pueda ser inmediato.

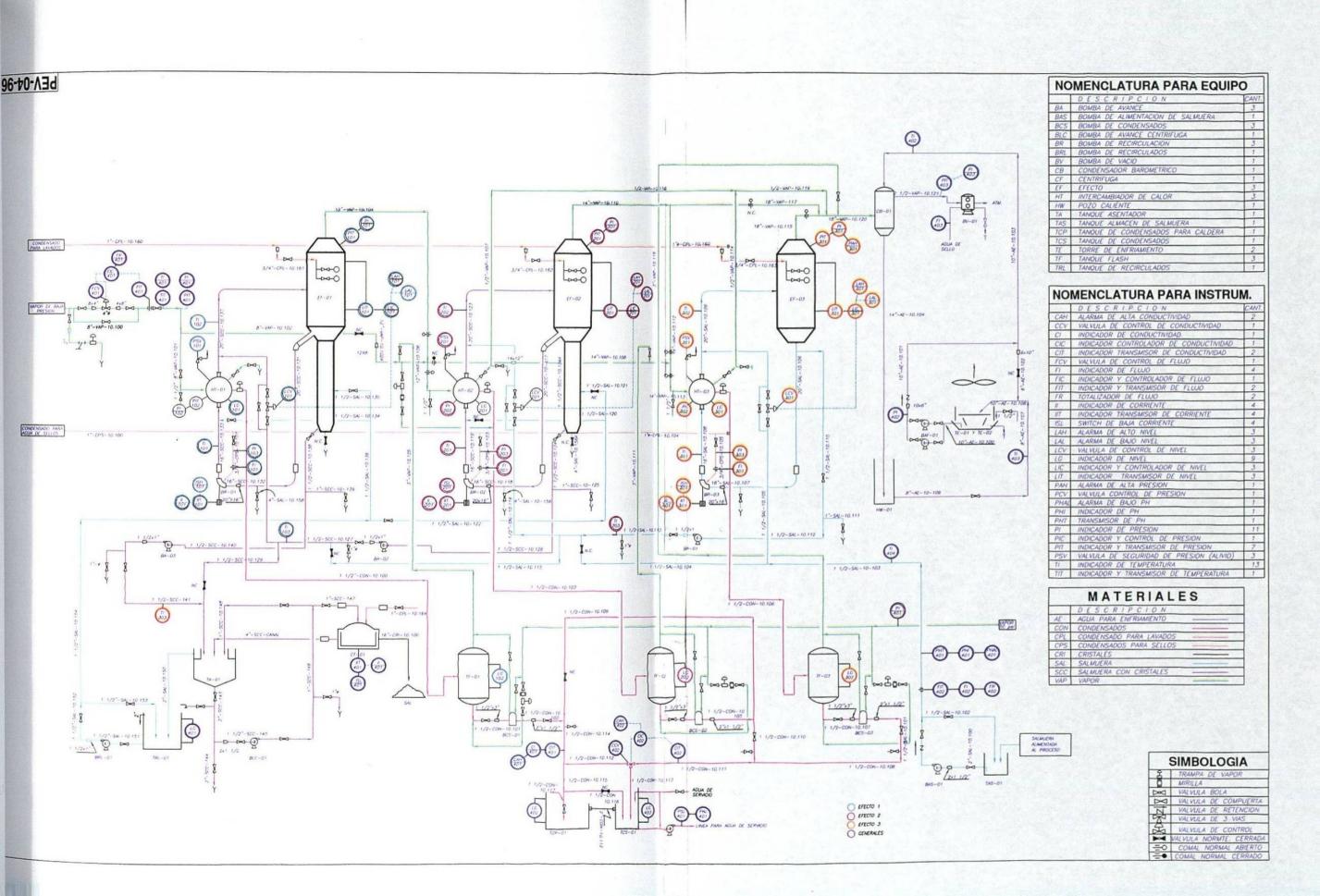
4.5 Balance de Materia y Energía

El balance de materiales se muestra en la siguiente hoja.



4.6 Diagrama de tuberías e instrumentos

El diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) se muestra en la siguiente hoja.



- El reciclado y reúso de los subproductos y los desechos,
 Y
- El cambio tecnológico para reemplazar tecnologías obsoletas y contaminantes, e incluso el cambio de materias primas y productos, para sustituirlos por materiales menos contaminantes o por productos reciclables.

La reducción en la generación de desechos se alcanza normalmente por dos vías: o bien se utilizan materias primas e insumos más puros y adecuados que generen menos desechos, o se instalan sistemas de control de producción que reduzcan los desperdicios innecesarios. Además, los Programas de Calidad Total adoptados por las industrias, como los considerados en las normas ISO-9000, si bien se orientan hacia la calidad del producto, contribuyen también a la calidad ambiental, cuando reducen las pérdidas de materiales en la producción.

A través del tiempo y de diversas experiencias se ha hecho evidente que la mejor estrategia para manejar la contaminación es evitarla, lo cual ha generado iniciativas que van desde los aspectos más sencillos del manejo de

procesos hasta conceptos revolucionarios, como el de "diseñar para el ambiente", un enfoque que puede modificar prácticamente cualquier proceso industrial actualmente en uso.

Bajo un enfoque moderno de competitividad ha cobrado relevancia un conjunto de cambios en la administración industrial, que van desde los aspectos más obvios de mantenimiento y manejo adecuado de los procesos, hasta prácticas relativamente sofisticadas, que incluyen modificaciones tecnológicas y decisiones de alta gerencia. En todos los casos, el objetivo es reducir: a) la cantidad neta de agua residual a tratar, b) los residuos o desechos sólidos que hay que manejar, c) las emisiones a la atmósfera que se deban controlar y d) los residuos peligrosos que se deban incinerar o confinar.

Conforme a lo anterior, la Prevención de la Contaminación ha evolucionado rápidamente, hasta convertirse en la tendencia dominante entre las estrategias de gestión de la contaminación para el presente siglo.

El trabajo desarrollado en este proyecto es una suma de las estrategias descritas al inicio de este apartado, ya que se han considerado y ejecutado los aspectos de a) la

administración de inventarios para evitar el desperdicio de materias primas, b) la reingeniería de los procesos, equipo o productos, buscando una minimización de los residuos a través de buenas prácticas de manufactura y el mantenimiento preventivo de los equipos e instalaciones, c) prácticas de uso eficiente de energía, d) prácticas de uso eficiente de agua y e) el reciclado y reúso o hasta comercialización de los subproductos y los desechos.

5.2 Ejecución de la Propuesta Medioambiental

Muchos de los contaminantes del agua pueden ser removidos mediante la construcción de plantas de tratamiento de aguas de desecho. Esto es algo que ocurre en todas partes del mundo pues la buena o mala calidad del ambiente para la vida humana depende del adecuado control de la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua.

Los costos asociados con el control de la contaminación, incluyendo los costos de capital, mantenimiento, mano de obra y costos de disposición de

residuos, se incrementan rápidamente conforme aumenta la cantidad de residuos. Por otro lado, el daño causado por la contaminación disminuye, en la medida que se remueven los contaminantes. El óptimo nivel de tratamiento debería corresponder al punto en el que tanto los costos del tratamiento como los de daño al ambiento sean mínimos.

El uso intensivo de tecnología de tratamiento de aguas de desecho industrial puede en algunos casos traer como consecuencia la generación de otro tipo de contaminantes, lo cual reduce o elimina el beneficio del tratamiento o termina por hacerlo costoso, en el renglón de disposición de sus residuos.

La alternativa seguida en este trabajo, claramente descrita como la separación de las sales contenidas en una salmuera mediante una operación de evaporación de triple efecto, acompañada de cristalización, es efectivamente un tratamiento de aguas de desecho con características muy específicas. Esas aguas son de origen industrial y su carga de contaminantes es de naturaleza "inorgánica".

Los procesos de tratamiento de aguas de desecho que contienen materia orgánica, cuantificada generalmente

mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, son más ampliamente conocidos que aquellos procesos en los que la carga contaminante es inorgánica. Los primeros son los que en general se encuentran en los libros de texto como ejemplos de las aplicaciones de la Ingeniería Ambiental.

El trabajo descrito en esta tesis es una clara aplicación de la amplitud de opciones de tratamiento que realmente existen para las aguas de desecho que generan las industrias. El tratamiento es en esencia uno de Ingeniería Ambiental con un fuerte respaldo de la Ingeniería Química de Procesos, pero con orientación a evitar o disminuir el efecto nocivo que esas salmueras podrían ocasionar al medio ambiente.

Adicionalmente a los efectos de prevención se tienen otros de carácter económico y de naturaleza sustentable: las sales pueden ser comercializadas y el agua tratada es reutilizable, con lo cual el gasto en combustible para la operación del evaporador se puede justificar parcialmente con la recuperación de substancias, por un lado, y porque se evita el costo de disponer de esas salmueras en algún centro de confinamiento.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores se ha planteado el problema que representa la generación de salmueras en la industria del papel. Particularmente, se señalaron los términos de cantidad y calidad de esas salmueras, cuya generación no es posible evitar mediante modificaciones al proceso de producción del papel, pues son inherentes a él.

Se analizaron las opciones para dar una solución ambiental al problema de las salmueras generadas por la planta. Debido a la naturaleza de esas salmueras, la única opción viable de tratamiento fue la concentración de ellas mediante evaporación, para generar sales cristalizadas y agua con características apropiadas para ser reutilizada. No existe tratamiento químico factible económicamente para

dichas salmueras, descartándose aquellos tratamientos basados en el uso de resinas de intercambio iónico.

Las "corridas" experimentales descritas en el Capítulo 3 permitieron obtener los parámetros de diseño, como presión, temperatura, concentraciones a la entrada y salida y otras, mediante las cuales fue posible dimensionar el equipo utilizado para dar el tratamiento apropiado a las salmueras.

Como resultado del tratamiento seleccionado para las salmueras, la planta papelera pudo evitar el problema de disponer, a un alto costo ese material en un centro de confinamiento o de turnarlo a la planta de tratamiento de aguas de la ciudad. Adicionalmente, el tratamiento de evaporación y cristalización no se limitó a producir un agua con características apropiadas para cumplir con los reglamentos, en cuanto a sus parámetros de descarga, sino que fue más allá al producir un agua factible de ser reutilizada y sales cristalizadas comercializables.

Posterior al cálculo de las dimensiones del equipo, tuvieron que seleccionarse los materiales para su construcción, en virtud del carácter corrosivo que las

salmueras presentan y que se acentúa por las altas temperaturas en que se efectúa la evaporación. En el Capítulo 4 se da una descripción precisa sobre los materiales recomendados y utilizados:

Finalmente, no podía dejarse aparte lo referente al manual de operación o las instrucciones de manejo del equipo de evaporación y todos sus accesorios. El Capítulo 4 describe a detalle las rutinas de arranque y de paro de la planta en operación regular y en situaciones de emergencia.

El trabajo descrito en esta Tesis ya está en plena operación, en la planta papelera que comisionó esta investigación.

CAPITULO 7

GLOSARIO

Abastecimiento de agua potable

Sistema o servicio de captación, tratamiento y distribución de agua para consumo humano.

Agricultura intensiva

Aquélla que usa métodos no naturales, como fertilizantes artificiales, insecticidas y otros productos químicos, además de realizar igual cultivo en el mismo campo cada año. Daña a la tierra, por facilitar la erosión del suelo.

Agricultura orgánica

Uso de métodos agrícolas que funcionan con los ciclos de la naturaleza. (aprovechando, entre otras cosas, los

desperdicios orgánicos de animales de granja como fertilizantes y la rotación de cultivos).

En otras palabras, se trata de la producción de frutas, verduras y hortalizas que se realiza mediante la diversificación y rotación de cultivos, sin el uso de productos químicos artificiales.

Aguas costeras

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

Aguas nacionales

Se denomina así a las aguas que son propiedad de la Nación, en los términos que establece el párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Es decir aquellas que se encuentran en territorio nacional o bien donde la nación ejerce su soberanía.

Agua potable

Agua apta para el consumo humano. El agua no es potable cuando contiene ciertos elementos químicos considerados peligrosos, y que superan los valores límites tolerados.

Estos elementos son: grasas, aceites, hidrocarburos y metales pesados (como el cadmio, manganeso, plomo, etc.).

Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

Aguas residuales

El aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas servidas/Aguas de desecho

Es el agua que ha sido utilizada y que ya no está limpia. Al igual que los desechos sólidos que suele contener, se arroja normalmente al alcantarillado.

Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

Biodegradable

Sustancia que puede ser descompuesta o desintegrada con relativa rapidez, por organismos vivos (generalmente bacterias), que la degradan, transformándola en una sustancia más sencilla.

Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad

de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Contaminación

Presencia de sustancias indeseables en el medio ambiente.

Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno5, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/L de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial

Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

Desarrollo sostenible

Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

Desechos industriales

Son los materiales --por ejemplo, algunos productos químicos e incluso el agua muy caliente-- que arroja un

proceso de manufactura. A veces pueden causar muchos daños y contaminar el agua y el medio ambiente si no se tratan o eliminan adecuadamente.

Desertificación

Es el proceso de conversión de una zona en un desierto debido al mal uso del suelo (pastoreo excesivo, agricultura intensiva, tala indiscriminada), o a las condiciones climáticas.

Efluente

Desechos líquidos, sólidos o gaseosos que, provenientes e los hogares o industrias, son volcados en los cursos de agua o atmósfera.

Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o aqua subterránea o pluvial.

Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

Estuario

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/L.

Humedales naturales

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

Límite máximo permisible

Valor o intervalo asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en

la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

T A B L A 1

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera	Número de	Intervalo entre	
el proceso generador de	muestras	toma de muestras	
la descarga	simples	simples (horas)	
Menor que 4	mínimo 2	Mínimo	Máximo
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times (Qi/Qt)$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i",
litros.

- VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para
 realizar la totalidad de los análisis de
 laboratorio requeridos, litros.
- Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.
- Qt = Qi hasta Qn, litros por segundo

Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Planta de tratamiento

Sitio designado para realizar varios procesos de potabilización o de tratamiento de aguas residuales.

Proceso

Cualquier operación o serie de operaciones que involucra una o mas actividades físicas o químicas mediante las que se provoca un cambio físico o químico en un material o mezcla de materiales. También se le conoce como proceso productivo.

Promedio diario (P.D.)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del nivel permisible, en ninguna de las muestras simples.

Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

Reúso

Uso de la misma agua más de una vez.

Riego no restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

Riego restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Río

Se denomina así a las corrientes de agua natural, de características perennes o intermitentes, que desembocan en otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o en el mar.

Salinización

Concentración anormalmente elevada de sales (de sodio por ejemplo) en el suelo, debida a la fuerte evaporación.

Suelo

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

Tratamiento

Conjunto de procesos al que se somete el agua para lograr un objetivo sanitario.

Tratamiento convencional

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

Uso en riego agrícola

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

Uso público urbano

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

REFERENCIAS

- Bustani Alberto, Revista Calidad Ambiental, volumen III, Num. 2 marzo 1997, ITESM, Monterrey, N. L. México. pp. 4,5,6
- 2 Libro de Actividades de la Tercera Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología. Programa EXPLORA-CONICYT, (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica), Chile, Octubre de 1997. www.explora.cl
- 3 Encarta, Enciclopedia Microsoft® Encarta® 98 © 1993-1997 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- 4 Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, CNA, México, D. F. 2000.

- 5 Comisión Nacional del Agua (CNA); Programa Hidráulico 1995-2000, 2.3.3 Uso Industrial, "Caudal de aguas residuales sin tratar", México, D. F. 1995.
- 6 Comisión Nacional del Agua (CNA); Programa Hidráulico 1995-2000, 2.3.3 Uso Industrial, "Demanda de agua para uso industrial". México, D. F. 1995.
- 7 LFMN, la Ley Federal de Metrología y Normalización, ley publicada en el diario oficial de la federación el 1 de julio 1992 (en vigor a partir del 16 de julio de 1992), México, D. F.
- 8 LAN, La Ley de Aguas Nacionales se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 1º de diciembre de 1992, México, D. F.
- 9 Reglamento de la LAN, el Reglamento de la LAN se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 12 de enero de 1994, México, D. F.
- 10 NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-001-ECOL-1996, publicada en el DOF en la ciudad de México, Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de 1996.

- 11 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, publicada en el DOF en la ciudad de México, Distrito Federal, a los seis días del mes de abril de 1998.
- 12 S.A.R.H., "Manual para la Clasificación de la Aguas para Riego Agrícola" D.G.U.A.P.C., (Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación), México 1981.
- 13 Costa, J. L. 1998, Calidad de aguas para riego.

 Material de divulgación, Jornada de riego, EEA Paraná

 INTA. Argentina, p. 7-14.
- 14 Comisión Nacional de Zonas Áridas / Secretaría de Desarrollo Social (1994), Plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD-México), México 1994.
- 15 O.W.R.T.(Office of Water Research and Technology)
 "Water Reuse and Recycling", EUA 1979
- 16 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Thirteenth edition. American Public Health Association, American Water Works Association

- and Water Pollution Control Federation 1974, Washington D. C.
- 17 El Agua: un Recurso Estratégico y de Seguridad Nacional, Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, México, D. F. p. 27
- 18 Comisión Nacional del Agua (enero 2002), Compendio básico del agua en México, CNA, SEMARNAT, México, P. 37,38
- 19 El Agua: un Recurso Estratégico y de Seguridad Nacional, Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, México, D. F. p.37
- 20 Hacia un manejo sustentable del agua, Programa
 Nacional Hidráulico 2001-2006, México, D. F. p.60
- 21 Limón Ariza, Héctor: Síntesis de la Historia de la Industria Salinera (Ponencia). I Foro Nacional de la Industria Salinera, México, D. F. 1991.

- 22 "Papel", Enciclopedia Microsoft® Encarta® 98 © 19931997 Microsoft Corporation. Reservados todos los
 derechos.
- 23 Comisión Nacional del Agua (serie 1991-2001). Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. México, Distrito Federal.
- 24 Mc Gauhey P.H., Engineering Management of Water Quality, Mc Graw-Hill Inc, 1968, U. S. A.
- 25 Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y medio ambiente de Trabajo, Publicado en el Diario oficial de la Federación en México Distrito Federal el 21 de enero de 1997.
- 26 American Society for Testing and Materials, (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).
- 27 American Welding Society, (Sociedad Americana de Soldadura).

BIBLIOGRAFIA

G. Walker

Industrial Heat Exchangers
HEMISPHERE PUBLISHING CORPORATION
USA, 1982.

J. W. Mullin

Cristalización

Editorial Butterworth - Heinemann Gran Bretaña, 1993.

Kirk- Othmer

Enciclopedia de Tecnología Química

Editorial UTHEA

México, 1962.

Lee Evans

Engineering materials for Chemical and Process Plant

John Wiley and Sons,

New York, USA, 1974.

Metcaf & Eddy, Inc.

Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización

Editorial McGraw-Hill

México, 1996.

Perry

Manual del Ingeniero Químico

Editorial McGraw-Hill

México, 1993.

Sadik Kakac

Boilers, Evaporators and Condensers

WILEY INTERSCIENCE

USA, 1961.

Smith-Van Ness

Introducción a la termodinámica en Ing. Química

Editorial McGraw-Hill

México, 1993.

Vincent Cavaseno

Process Heat Exchange

McGraw-Hill publications Co.

New York, N.Y. USA, 1979.

Welty, Wicks, Wilson

Fundamentos de transferencia de Momento, Calor y Masa

Editorial LIMUSA

México, 1990.

NOMENCLATURA

CNA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
GPS	Galones por segundo
gr	Gramos
Kg	Kilogramos
1	Litros
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LFNM	Ley federal sobre metrología y normalización
MOM	Norma oficial mexicana
Нф	Potencial de hidrógeno
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales

