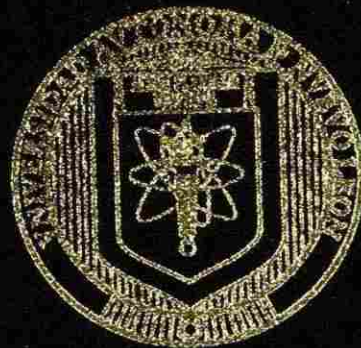


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO
PROVENIENTE DE UNA PAPELERA, MEDIANTE UN
SISTEMA DE EVAPORACION DE TRIPLE EFECTO

Por

ARMANDO LUIS VILLARREAL RODRIGUEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental

Enero 2004

TM

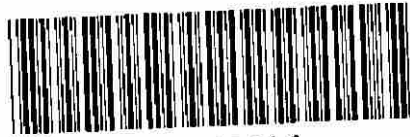
Z6834

.C5

FIC

2004

.V5



1020149816



UANL

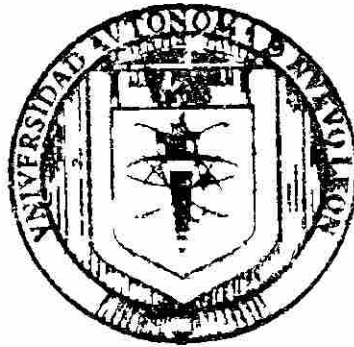
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO
PROVENIENTE DE UNA PAPELERA, MEDIANTE UN
SISTEMA DE EVAPORACION DE TRIPLE EFE TO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

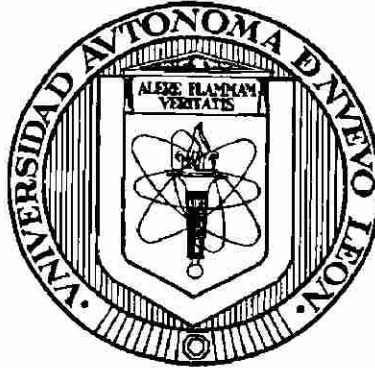
DIPARTIANDO LUIS VILLARREAL RODRIGUEZAS

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad e
Ingeniería Ambiental

Enero 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO PROVENIENTE DE UNA
PAPELERA, MEDIANTE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN
DE TRIPLE EFECTO**

Por

ARMANDO LUIS VILLARREAL RODRÍGUEZ

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental**

Enero, 2004



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



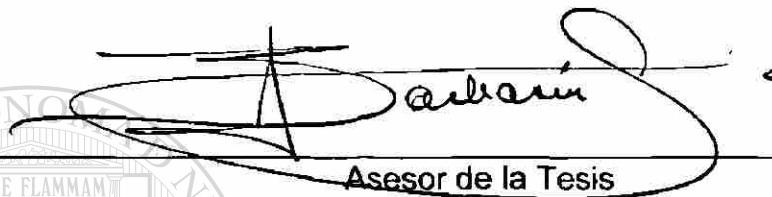
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**FONDO
TESIS**

**TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO PROVENIENTE DE UNA
PAPELERA, MEDIANTE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN
DE TRIPLE EFECTO**

Aprobación de la Tesis:



Asesor de la Tesis

Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo



UANL



Subdirector de Estudios de Postgrado

M. I. Justino César González Álvarez

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

M. I. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL,
U. A. N. L.

Presente.-

Estimado M. I. González Álvarez:

Por este conducto me permito manifestarle que he revisado y dictamino como **APROBADA** la Tesis de mi asesorado el Ing. **Armando Luis Villarreal Rodríguez**, titulada **“Tratamiento de un Efluente Salino Proveniente de una Papelera Mediante un Sistema de Evaporación de Triple Efecto”**.

Esta Tesis forma parte de los requisitos para optar al grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental que otorga la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ingeniería Civil.

De acuerdo con el Protocolo Oficial para la Aprobación de Tesis de Maestría, anexo a la presente encontrará Ud. el original y dos copias de la Tesis mencionada, para que sea turnada al Comité correspondiente para su evaluación.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Agradeciendo las atenciones que tenga a la presente, quedo de Ud. con un cordial saludo.

Monterrey, N.L. a 25 de junio de 2003

ATENTAMENTE



DR. JUAN MANUEL BARBARÍN CASTILLO
DIRECTOR DE TESIS

15 de agosto de 2003


ING. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ÁLVAREZ, M EN I
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Presente.-

Estimado M en I González Álvarez:

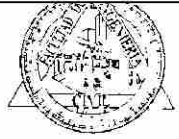
En atención a su oficio en el que me informa que fui designado Evaluador de la Tesis: **“TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA PAPELERA MEDIANTE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN DE TRIPLE EFECTO”**, que presenta el Sr. Ing. Armando Luis Villarreal Rodríguez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, me permito informar a usted que después de haber leído y evaluado la calidad de la tesis, dictamino que la misma es **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento, le manifiesto mi disposición para cualquier duda o aclaración que considere usted pertinente,

Atentamente,



MC Jimmy Luis Loaiza Navía



COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

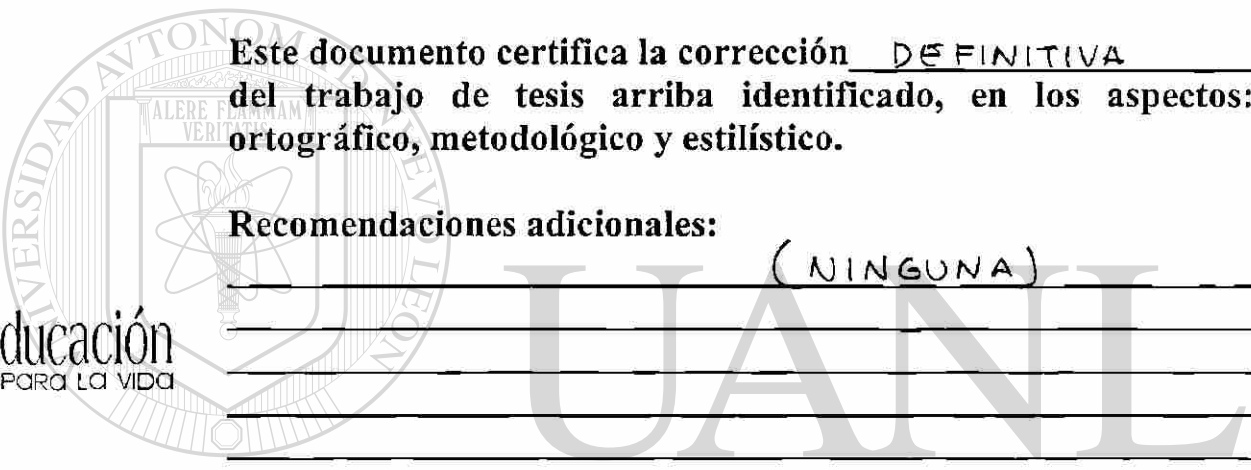
Tesista: ARMANDO LUIS VILLARREAL RODRÍGUEZ

Tema de la tesis: TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO
 PROVENIENTE DE UNA PAPELERA, MEDIANTE UN SISTEMA
 DE EVAPORACIÓN DE TRIPLE EFECTO.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA
 del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos:
 ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

(NINGUNA)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Nombre y firma de quien corrigió:

Ramón Longoria

Arq. Ramón Longoria Ramírez

J. G. Alvarez

M.I. JUSTINO CÉSAR GONZÁLEZ ALVAREZ
 SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Ciudad Universitaria, a 10 de diciembre de 2003

Ing. Alejandro Ramírez Alcázar Ph.D.

Taxco 265, Col. Regina

Monterrey, N. L.

Tel. 83 51 68 22

02 de Enero de 2004.

Facultad de Ingeniería Civil, U. A. N. L.
Subdirección de Estudios de Posgrado.
C. U., San Nicolás de los Garza, N. L.:

At'n.: Ing. Justino C. González Álvarez. M. en I.
Subdirector de Estudios de Posgrado.

Después de saludarle, atentamente acuso recibo de una copia de la Tesis que presenta el Ing. Armando Luis Villarreal Rodríguez, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, para la que se me ha distinguido como evaluador, y que se intitula "Tratamiento de un efluente salino proveniente de una papelera, mediante un sistema de evaporación de triple efecto".

El tema relacionado es interesante y de actualidad, dado que muchas empresas se enfrentan al problema del tratamiento y la disposición de los efluentes salinos provenientes de distintas operaciones y procesos de fabricación.

La tesis presenta información interesante para una aplicación en particular, e incluye estudios de tratabilidad y selección de equipo para el tratamiento del efluente salino, y en mi opinión es satisfactoria para el fin que el Ing. Villarreal la presenta.

El Ing. Villarreal ya efectuó las aclaraciones solicitadas en nuestro oficio de fecha 01/08/03, por lo que en mi opinión el escrito ya actualizado puede emplearse para el objeto citado en el primer párrafo de ésta oficio.

Sin otro asunto en particular por el momento, quedo de Ud., en espera de las noticias relacionadas con la realización de las etapas siguientes tendientes a la obtención del Grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, del Ing. Villarreal Rodríguez

Monterrey, N. L.

Atentamente:


Dr. Alejandro Ramírez Alcázar

Profr. de la División de Estudios de Postgrado de la FIC. UANL

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS a Dios por darme el milagro de la vida; por enseñarme cada día que la vida puede ser maravillosa y por tantos otros dones que me ha dado; gracias.

A mis padres por confiar en mi; Papá, se que allá donde estás guías mis pasos e iluminas mi camino, aun en los momentos más oscuros; gracias.

A todos y cuantos forman parte de mi familia, gracias.

Al Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo por su confianza y apoyo y, además, por tantos meses de trabajo que hoy se ve culminado; gracias.

Y muy especialmente a ti, mi compañera, mi esposa; porque debido a tu confianza y a tu apoyo incondicional, hoy me es posible dar este paso; gracias.

Especialmente a ti Alma Rosa

RESUMEN

I.Q. ARMANDO LUIS VILLARREAL RODRÍGUEZ
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ENERO DE 2004

TÍTULO: TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE SALINO PROVENIENTE DE UNA
PAPELERA, MEDIANTE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN DE TRIPLE EFECTO

No. De páginas: 173

Candidato al Grado de Maestro
en Ciencias con Orientación en
Ingeniería Ambiental

Estudio: Operaciones Unitarias en Ingeniería Ambiental

Propósito y Método de Estudio: El propósito principal de este trabajo fue lograr concentrar una agua residual con características de salmuera, mediante una operación de evaporación, que permitiese obtener sales cristalizadas y agua re-utilizable. Con el tratamiento propuesto se puede también dar una solución al problema ambiental de manejo y disposición de ese tipo de agua residual. El método de estudio fue experimental y en base al conocimiento de los principios que aplican a las operaciones unitarias de transferencia de masa y energía entre fases. Con ello se logró establecer que, para el agua a tratar, la evaporación requería de tres fases de equilibrio (triple efecto) y, en consecuencia, las condiciones óptimas de operación de cada una fueron establecidas como base para el cálculo de tamaño y demás parámetros de los evaporadores e intercambiadores de calor, así como del cristalizador de sales.

Contribuciones y Conclusiones: Las operaciones de evaporación y cristalización, desarrolladas sobre un agua residual con características de salmuera, permitieron brindar un método alternativo viable para este tipo de desecho común en la industria. El tratamiento permitió concentrar la salmuera desde 1100 hasta 1330 gL⁻¹ y obtener así 32,808 kg de sal por día y 150,000 L de agua por día. La comercialización de las sales y el reuso del agua tratada garantizan que el proceso propuesto no genera desechos y de esta manera es sustentable.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 El Agua en Relación con el Desarrollo de la Humanidad	1
1.1.1 El agua como receptor de contaminantes.	4
1.1.2 Ciclo natural del agua	5
1.1.3 Ciclo hidrológico modificado por la actividad humana	7
1.1.4 Uso industrial del agua	9
1.1.5 Purificación del agua	12
1.2 Legislación Ambiental Aplicable	14
1.2.1 Reglamentos vigentes	17
1.2.2 Normas Oficiales Mexicanas	21
1.3 Criterios de Calidad del Agua	26
1.3.1 Contenido de sales solubles	29
1.3.2 Índices para evaluar el agua destinada al uso agrícola	30
1.3.2.1 Degradación del suelo	32
1.3.3 Índices para evaluar el agua destinada a la ganadería	36
1.3.4 Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en el agua	39
1.4 Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua.	41
1.4.1 El potencial de hidrógeno.	42
1.4.2 La conductividad	43
1.4.3 La alcalinidad total	43
1.4.4 El oxígeno disuelto.	44
1.4.5 La demanda bioquímica de oxígeno	45
1.4.6 La demanda química de oxígeno	45
1.4.7 los sólidos en todas sus formas	46
1.4.8 Las grasas y aceites	47

Capítulo **Página**

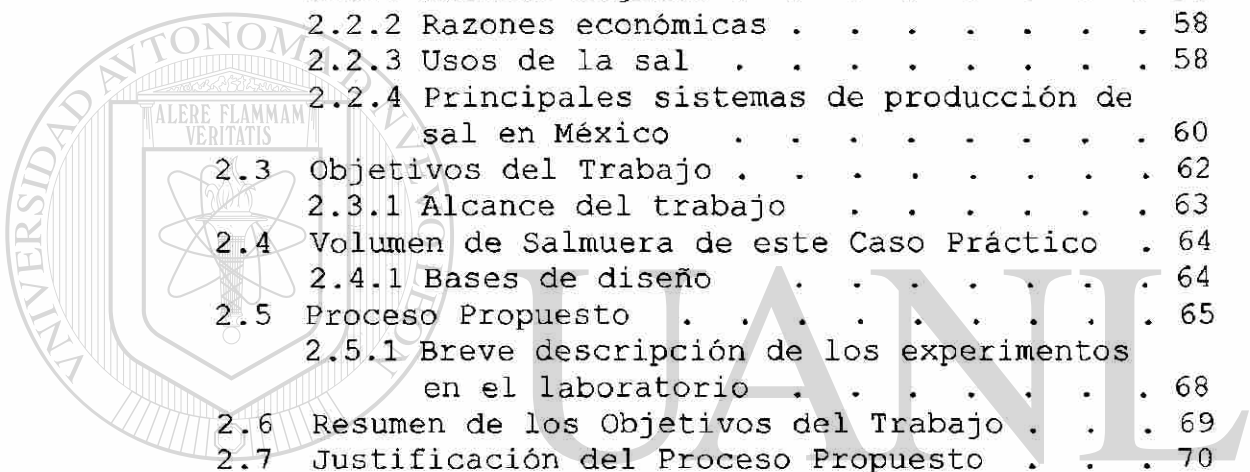
1.4.9 El fósforo 47
 1.4.10 El nitrógeno 47
 1.4.11 Los detergentes 48
 1.4.12 La dureza. 48
 1.5 Panorama Actual 49

**2. GENERACIÓN DE SALMUERA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL
 RECICLADO 53**

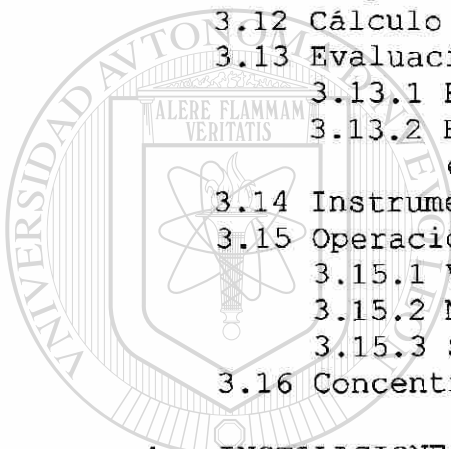
2.1 Introducción 53
 2.2 Necesidad de Tratar la Salmuera por Razones
 Legales y Económicas 56
 2.2.1 Razones legales 56
 2.2.2 Razones económicas 58
 2.2.3 Usos de la sal 58
 2.2.4 Principales sistemas de producción de
 sal en México 60
 2.3 Objetivos del Trabajo 62
 2.3.1 Alcance del trabajo 63
 2.4 Volumen de Salmuera de este Caso Práctico . 64
 2.4.1 Bases de diseño 64
 2.5 Proceso Propuesto 65
 2.5.1 Breve descripción de los experimentos
 en el laboratorio 68
 2.6 Resumen de los Objetivos del Trabajo . . . 69
 2.7 Justificación del Proceso Propuesto . . . 70

3. TRABAJO EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS 72

3.1 Generalidades 73
 3.2 Descripción de las Operaciones de Evaporación,
 Filtrado y Cristalización. 74
 3.2.1 Estabilización del equipo evaporador . 74
 3.3.2 Equipo de cristalización y filtración. 75
 3.3 Parámetros de Control en el Evaporador . . 76
 3.4 Resumen de las "Corridas" Experimentales en el
 Evaporador 78
 3.4.1 Primera "corrida" experimental (Día 1) 78
 3.4.2 Segunda "corrida" experimental (Día 2) 81
 3.4.3 Tercera "corrida" experimental (Día 3) 83
 3.4.4 Cuarta "corrida" experimental (Día 4). 85
 3.5 Conclusiones de la Experimentación. . . . 86
 3.6 Condiciones de Operación de trabajo en la
 Evaporación de Triple Efecto. 88



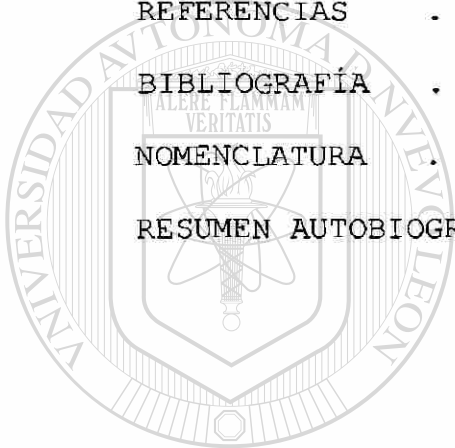
3.7	Condiciones de Operación de Trabajo en la Obtención de Cristales	89
3.8	Observaciones Acerca de los Productos Obtenidos	90
3.8.1	Cristales	90
3.8.2	Salmueras	91
3.8.3	Condensados	92
3.8.4	Productos de la filtración	92
3.9	Economía del Evaporador	93
3.9.1	Consumo de vapor vivo	93
3.9.2	Economía	95
3.10	Criterios para Definir el Proceso	95
3.11	Comportamiento de la Salmuera al Evaporarse	97
3.12	Cálculo del Sistema de Evaporación	99
3.13	Evaluación de los Equipos	102
3.13.1	Especificaciones de la centrífuga	103
3.13.2	Especificaciones de la torre de enfriamiento	104
3.14	Instrumentación y Equipos de Control.	105
3.15	Operación de la Planta	108
3.15.1	Variables de operación	107
3.15.2	Manejo de condensados	109
3.15.3	Separación de Cristales de Sal	111
3.16	Concentración de sólidos; primer efecto.	112
4.	INSTALACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN EN LA PLANTA	114
4.1	Normas Generales de Seguridad	114
4.1.1	Diseño y construcción	116
4.1.2	Distribución por áreas	119
4.1.3	Descripción del proceso	120
4.1.4	Materias primas	124
4.1.5	Productos	125
4.1.6	Subproductos	125
4.1.7	Generación de residuos	126
4.1.8	Almacenamiento de materias primas	126
4.1.9	Almacenamiento de producto terminado	127
4.2	Manejo del Agua	127
4.2.1	Agua sin tratar	127
4.2.2	Agua de enfriamiento	128
4.2.3	Descargas de agua	128
4.2.4	Drenajes	128
4.3	Energía Eléctrica y Combustibles	129
4.4	Procedimientos	149
4.4.1	De arranque general de la planta	130



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Capítulo	Página
4.8.2 De paro normal de la planta	136
4.8.3 De paro de emergencia	138
4.5 Balance de Materia y Energía	139
4.6 Diagrama de Tuberías e Instrumentos	140
5. DISCUSIÓN	141
5.1 Propuesta de Solución Medioambiental	141
5.2 Evaluación de la Propuesta Medioambiental	144
6. CONCLUSIONES	147
7. GLOSARIO	150
REFERENCIAS	164
BIBLIOGRAFÍA	169
NOMENCLATURA	172
RESUMEN AUTOBIOGRAFICO	173



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 El Ciclo Hidrológico en la Tierra	6
2.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Papel Reciclado, donde se Genera la Salmuera. .	55
2.2 Consumo Nacional Anual de Sal (NaCl) en el Período de 1994 a 1999	62
3.1 Esquema del Evaporador de Triple Efecto Utilizado	75
3.2 Diagrama de Fases que Muestra la Cristalización desde una Disolución que Contiene NaCl y KCl, a 25 y 100°C	98

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



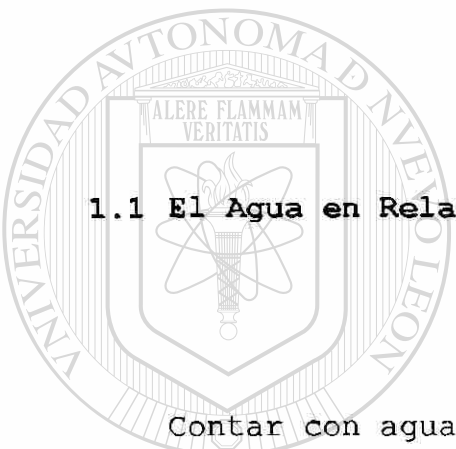
LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1.1 Caudal Descargado por Diferentes Tipos de Industrias	12
1.2 Valores Típicos de Concentración Salina junto con Criterios de Uso	38
1.3 Valores Limitantes para una Variedad de Parámetros	40
2.1 Análisis de la Salmuera en Base Iónica	64
2.2 Análisis de la Salmuera con Base en el Contenido de Sales	65
3.1 Condiciones de Operación Medidas Experimentalmente en las Diferentes Secciones del Equipo Evaporador	77
3.2 Resumen de las Características del Evaporador	89
3.3 Resumen de las Propiedades Químicas del Producto Obtenido	90
3.4 Propiedades de los Fluidos Utilizados en los Cálculos	101
3.5 Instrumentación Propuesta por Efecto	105
3.6 Instrumentación General Propuesta	106

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 El Agua en Relación con el Desarrollo de la Humanidad



Contar con agua de calidad y manejar adecuadamente las aguas residuales son dos de las más grandes preocupaciones de la sociedad en estos últimos tiempos, ello es debido principalmente a las legislaciones que en la materia han sido logradas gracias la presión de una sociedad más crítica y más involucrada.

Históricamente muchas de las enfermedades y padecimientos se desarrollaron en forma paralela con el crecimiento de las ciudades.

Lo anterior fue una consecuencia directa de los deficientes sistemas en uso para manejar y deshacerse de las aguas residuales de ciudades y pueblos, los que, para agravar la situación, contaban con un creciente número de habitantes. La mayoría de los ríos, lagos y zonas costeras se convirtieron en los receptores de las aguas residuales municipales, industriales y agrícolas, hasta el punto que en muchos casos se excedió la capacidad natural que estos ríos, lagos y zonas costeras tenían para eliminar diversos tipos de contaminantes.

De hecho, muchos de estos cuerpos de agua se contaminaron fuertemente con organismos patógenos de gran diversidad en algunos casos y con la introducción de diversos materiales químicos y hasta factores físicos, los que degradaron la calidad del agua y afectaron a los organismos acuáticos que normalmente viven en su medio. La combinación de tales factores fue la causa de muchos tipos de enfermedades y padecimientos sufridos por los antiguos pobladores de Europa y que todavía azotan a las poblaciones menos protegidas y empobrecidas del mundo actual.¹

El problema del manejo de las aguas residuales se incrementó fuertemente conforme la población creció, así

como también crecieron las diversas actividades industriales, mineras, agrícolas y de comercio. Todo lo anteriormente dicho influyó para aceptar la necesidad de controlar las descargas de contaminantes sobre los cuerpos de agua.

De hecho, en Europa se empezaron a utilizar sistemas de filtración desde 1829, aunque el uso más extensivo de estas tecnologías fue lento para el resto del mundo no desarrollado, como América Latina, parte de Asia y la totalidad de África.

Muchas de esta aguas residuales contienen valiosos nutrientes o minerales que pueden hacerse regresar a los suelos, o que poseen un valor comercial que puede hacer tentador algún tipo de proceso de recuperación.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las estrategias para controlar la contaminación del agua no han sido suficientes o se han implementado tardíamente prácticamente en todo el mundo.

Como consecuencia de ello, un gran número de ríos, lagos y mares tienen alarmantes niveles de contaminación.

1.1.1 El Agua como Receptor de Contaminantes

Las aguas superficiales, como son los ríos, presas y lagos, son en la mayoría de los casos el receptor inicial de las descargas de residuos y se constituyen en el medio de transporte de los mismos hasta el mar, afectando así no solamente la posibilidad de su empleo en las diversas actividades humanas, sino también en su capacidad para que la vida se desarrolle, tanto en los cuerpos de agua continentales como en los mares, que son el receptáculo final de los contaminantes.

Ante esta situación, y dada la creciente demanda que se tiene de este vital líquido, los gobiernos de los países desarrollados han llegado a establecer una serie de criterios de calidad que deben poseer las aguas cuando se destinan a las principales actividades humanas que la demanden.

Conformes al uso que se la destina, habrán de ser los requisitos de calidad que deberá poseer el agua; así, por ejemplo, si se tiene un agua destinada al consumo humano, ésta debe poseer una calidad superior a la destinada para la mayoría de los usos en la industria, y ésta, a su vez

deberá ser de mejor calidad que la utilizada para muchos tipos de riego agrícola.

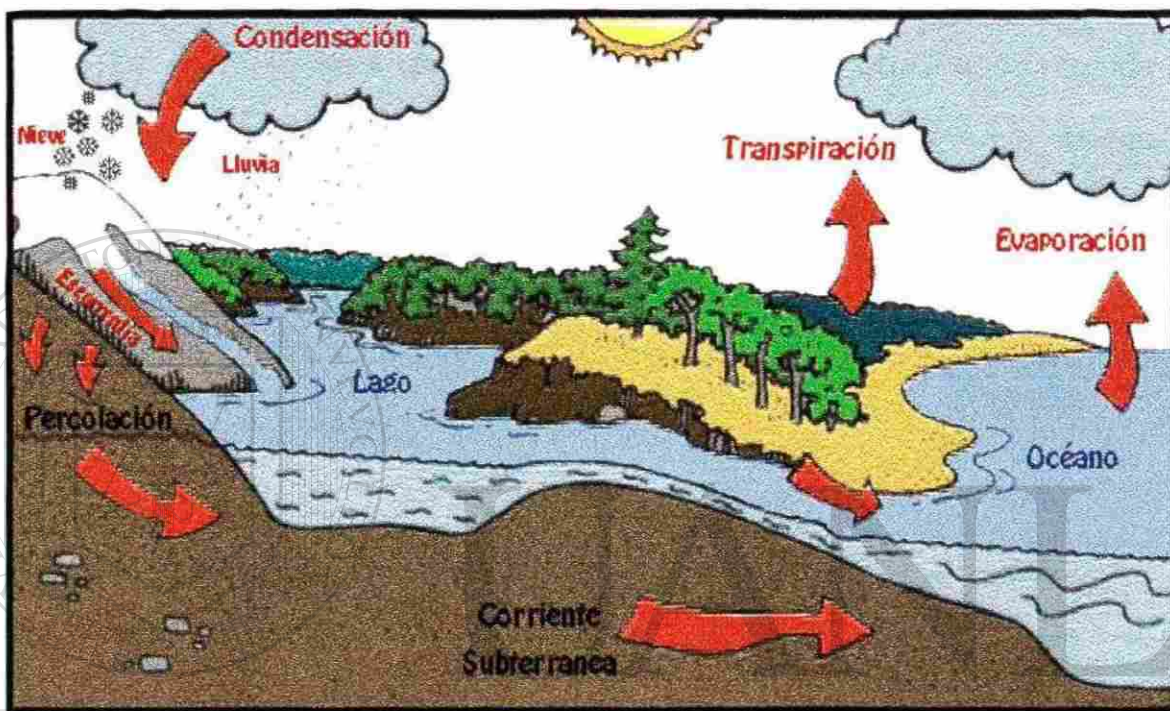
1.1.2 El Ciclo Natural del Agua

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución del agua en la Tierra, sus interacciones físicas y químicas con otras sustancias existentes en la naturaleza y su relación con la vida. El movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera se conoce como ciclo hidrológico y éste es ilustrado en la Figura 1.1.²

Se produce vapor de agua por evaporación desde la superficie terrestre y de todos los cuerpos de agua (mares, ríos, pantanos, etc.) y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y se precipita en forma de lluvia o nieve.

Al llegar a la superficie terrestre, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los riachuelos y

arroyos, de donde pasa a los océanos y a las cuerpos de agua continentales; el resto se infiltra hacia el subsuelo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Figura 1.1 El Ciclo Hidrológico en la Tierra.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Una parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas.

La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo logra infiltrarse aún más, para seguir

su trayectoria descendente, acumulándose en la llamada zona de saturación, para formar un depósito de agua subterránea cuya superficie o espejo superior se conoce como nivel hidrostático o freático.

En condiciones normales el nivel freático aumenta de forma intermitente según se recarga por las lluvias y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales o por la explotación humana que efectúa extracciones desde pozos o norias equipados con bombas. ³

1.1.3 Ciclo Hidrológico Modificado por la Actividad Humana

~~Una descarga es la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor ya sea en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público.~~

El agua pura casi no existe en la naturaleza debido a su capacidad para disolver numerosas sustancias en grandes cantidades. Incluso la lluvia o la nieve, absorben de la atmósfera cantidades importantes de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material

orgánico e inorgánico presentes a grandes altitudes. Son bien conocidos los casos de lluvia radiactiva sobre la superficie de la Tierra, posteriores a pruebas de detonación de armamentos o de accidentes en centrales nucleares como la de Chernobyl, Rusia.³

En su circulación por la superficie y a través de la corteza terrestre, el agua interacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales.

Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Se ha demostrado que una proporción adecuada de fluoruros en el agua potable reduce la ocurrencia de caries en los dientes.

El agua del mar contiene, además de grandes cantidades de cloruro de sodio o sal, muchos otros compuestos disueltos, debido a que los océanos reciben las impurezas procedentes de ríos y arroyos. Al mismo tiempo, como el agua pura se evapora continuamente la concentración del material disuelto aumenta, lo que proporciona al océano su carácter salino.³

1.1.4 Uso Industrial del Agua

Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. No incluye plantas termoeléctricas ni industrias que se abastecen de las redes municipales de agua potable y vierten sus desechos en las redes de alcantarillado.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En México se estima que en 1994, el volumen suministrado a la industria, fuera de zonas urbanas fue de 2.46 km³ (equivalente a un gasto de 78.7 m³/s). Este volumen corresponde, con las necesidades de agua de 1387 empresas consideradas como las más importantes por su nivel de consumo y descarga sin considerar los 5.0 km³ que cada año substraen las plantas termoeléctricas que utilizan agua

salobre. El 75% del consumo arriba señalado proviene de acuíferos subterráneos y el restante 25% es tomado de fuentes superficiales.

El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso.

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada y el 21% como fuertemente contaminada.⁴

En 1994 el volumen estimado de descargas generadas por la industria fue de aproximadamente 2.05 km³ (64.5 m³/s), con 1.6 millones de toneladas de DBO al año, equivalente a la contaminación generada por 68 millones de habitantes.

El caudal tratado de aguas residuales es de 0.17 km³/año (5.3 m³/s), lo que representa sólo un 8% de lo generado, con una remoción estimada de 0.12 millones de toneladas de DBO.

El caudal sin tratar es de $1.88 \text{ km}^3/\text{año}$ ($59.2 \text{ m}^3/\text{s}$), conteniendo 1.28 millones de toneladas de DBO al año.⁵

La tecnología utilizada en la mayoría de los procesos industriales es poco eficiente en el uso del agua; esto se refleja en una extracción excesiva de agua y en una mayor producción de contaminantes, entre los que destacan ácidos, bases, grasas y aceites, metales pesados y sólidos suspendidos totales.

Las industrias que más agua utilizan y que más contaminan son: la azucarera, la química-petroquímica, la petrolera, la de celulosa y papel, la alimenticia y la metálica básica.

Algunas de estas industrias se establecieron en zonas de baja disponibilidad del agua, lo que ocasiona sobreexplotación de los acuíferos, contaminación de los ecosistemas y altos costos de oportunidad del agua.

Se estima que la demanda de agua al año 2000, llegó a $2.6 \text{ km}^3/\text{año}$ ($82 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que la descarga de aguas residuales ascendió a $2.1 \text{ km}^3/\text{año}$ ($66 \text{ m}^3/\text{s}$).⁶

CAUDAL DESCARGADO POR DIFERENTES TIPOS DE INDUSTRIA		
Industria	Caudal de aguas residuales (m ³ /s)	Materia orgánica generada* (miles ton/año)
Azucarera	45.6	1869
Química	13.4	635
Petrolera	7.0	1247
Hierro y acero	4.5	93
Celulosa y papel	4.5	85
Textil	2.9	196
Beneficio de café	1.5	80
Cerveza y malta	1.4	95
Alimenticia	1.2	39
Agropecuaria	0.7	33
Acabado de metales	0.2	1.7
Curtiduría	0.1	13.3
Vitivinícola	0.1	5.3

*Medida en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Fuente: Comisión Nacional del Agua 2

TABLA 1.1 Caudal Descargado por Diferentes Tipos de Industria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

1.1.5 Purificación del Agua

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines.

Los materiales indeseables, si se hallan suspendidos, ya sean orgánicos e inorgánicos, pueden ser removidos por métodos de criba y sedimentación, según sea su tamaño de

partícula y densidad. Otro método de tratamiento utiliza carbón activado, a fin de eliminar por adsorción los sabores y olores desagradables producidos por la presencia de solventes orgánicos, micro-contaminantes orgánicos, gases disueltos y hasta especies biológicas en el agua.

También se puede purificar el agua por filtración, o por cloración o irradiación, para eliminar microorganismos infecciosos.

En la aeración, o saturación de agua con aire, se hace entrar el agua en contacto con el aire de forma que se produzca la máxima difusión de oxígeno; esto se lleva a cabo normalmente en arreglos semejantes a fuentes,

esparciendo agua en el aire. La ventilación elimina por desorción los olores y sabores producidos por la descomposición de la materia orgánica, al igual que son eliminados algunos desechos industriales como los fenoles, algunos gases y compuestos volátiles como el CO_2 , el amoníaco o el sulfuro de hidrógeno. También convierte los compuestos de hierro y manganeso disueltos en óxidos hidratados insolubles que pueden ser extraídos con facilidad por precipitación.

1.2 Legislación Ambiental Aplicable

Las normas oficiales mexicanas especifican los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en el agua residual de origen industrial. Sin embargo, algunos usos no tienen todavía establecidos estos límites.

La necesidad de atender de manera específica la administración de las aguas nacionales confluye en la decisión del Ejecutivo Federal de crear, en 1989, la Comisión Nacional del Agua como la autoridad federal responsable de administrar las aguas nacionales y sus bienes inherentes. Su Director General es designado por el

Presidente de la República.

Por otra parte, en el contexto normativo de la administración pública federal, en julio de 1992 se publicó la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN),⁷ misma que estableció las bases para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas (NOM), cuyo objeto es la regulación de productos y servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas, afectar la salud humana, animal, vegetal o el medio

ambiente en general. Asimismo, se establece que corresponde a las dependencias de la administración pública federal expedir las NOM, según su ámbito de competencia.

Paralelamente, como eje articulador de las facultades y acciones de la CNA para la administración de los recursos hidráulicos, en diciembre de 1992 se expidió la Ley de Aguas Nacionales (LAN)⁸ y en enero de 1994 se publicó su Reglamento.⁹ La LAN es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales y es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr el desarrollo integral sustentable.

De esta manera, la LAN se revitaliza con la recién revisada LFMN, con base en la cual se incluyen diversos apartados que hacen alusión a las NOM y, aunque de manera menos específica, a las normas de calidad de los productos y equipos que se utilicen en la infraestructura hidráulica,

mismas que vienen a ser las Normas Mexicanas (NMX) de acuerdo con las definiciones de la LFMN.

De esta manera se pueden señalar, entre otras muchas, las siguientes atribuciones de la CNA, mismas que están incluidas en la LAN:

- Ejercer las atribuciones que conforme a la presente ley corresponden a la autoridad en materia hidráulica, dentro del ámbito de la competencia federal.

- Administrar y custodiar las aguas nacionales y los bienes nacionales y preservar y controlar la calidad de las mismas, así como manejar las cuencas en los términos de la LAN.

- Expedir las normas oficiales mexicanas en materia hidráulica en los términos de la LFMN.

- Promover, expedir y certificar el cumplimiento de las normas de calidad de los productos, equipos, maquinarias, materiales y servicios que se utilizan en la infraestructura hidráulica. ®

Si bien la CNA es un organismo desconcentrado de la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y ahora de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la LAN le otorga de manera específica

atribuciones y responsabilidades congruentes con las acciones y políticas de la SEMARNAT.

La organización de la CNA le permite ocuparse del carácter multisectorial del agua en el ámbito central y en el regional, a través de sus Gerencias Regionales, mismas que progresivamente se han establecido conforme a cuencas hidrológicas.

1.2.1 Reglamentos Vigentes

El Reglamento de la Ley Nacional de Aguas, en su TÍTULO SÉPTIMO, relativo a la PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS, en su capítulo ÚNICO dice lo siguiente:

ARTÍCULO 134. Las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas bajo su responsabilidad y en los términos de ley, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y, en su caso, para reintegrarlas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

ARTICULO 135. Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley", deberán:

I. Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión", o en su caso, presentar el aviso respectivo a que se refiere la "Ley" y este Reglamento;

II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando esto sea necesario para cumplir con las obligaciones establecidas en el permiso de descarga correspondiente;

III. Cubrir, cuando proceda, el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales;

IV. Instalar y mantener en buen estado los dispositivos de aforo y los accesos para muestreo que permitan verificar los volúmenes de descarga y las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga;

V. Informar a "La Comisión" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente;

VI. Hacer del conocimiento de "La Comisión", los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que vienen operando y que no estuvieran considerados originalmente en las condiciones particulares de descarga que se les hubieren fijado;

VII. Operar y mantener, por sí o por terceros, las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, así como para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores;

VIII. Sujetarse a la vigilancia y fiscalización que para el control y prevención de la calidad del agua establezca "La Comisión", de conformidad con lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento";

IX. Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descarguen o infiltren en los términos de ley y demás disposiciones reglamentarias;

X. Conservar al menos durante tres años el registro de la información sobre el monitoreo que realicen, en los términos de las disposiciones jurídicas, normas, condiciones y especificaciones técnicas aplicables, y

XI. Las demás que señalen las leyes y disposiciones reglamentarias.

Las descargas de aguas residuales de uso doméstico que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado, se podrán llevar a cabo con sujeción a las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan y mediante un simple aviso.

ARTICULO 137. Es responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto de la "Ley", incluidas las unidades y los distritos de riego, cumplir con las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga para la prevención y control de la contaminación, extendida o dispersa, que resulte del manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

"La Comisión" promoverá y realizará, en su caso, las acciones y medidas necesarias y se coordinará con las autoridades competentes para la expedición de las normas oficiales mexicanas que se requieren para hacer compatible el uso del suelo con los objetivos de prevención y control de la contaminación de las aguas y bienes nacionales. En la fijación de normas oficiales para el uso del suelo, que puedan afectar aguas nacionales, se deberá recabar la opinión técnica de "La Comisión".

1.2.2 Normas Oficiales Mexicanas

NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-001-ECOL-1996 ¹⁰

"QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES."

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996 ¹¹

"QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL."

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o

municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales ni a las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Además, se cuenta con las siguientes normas mexicanas o métodos de prueba aplicables:

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada

en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH -Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 26 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario**

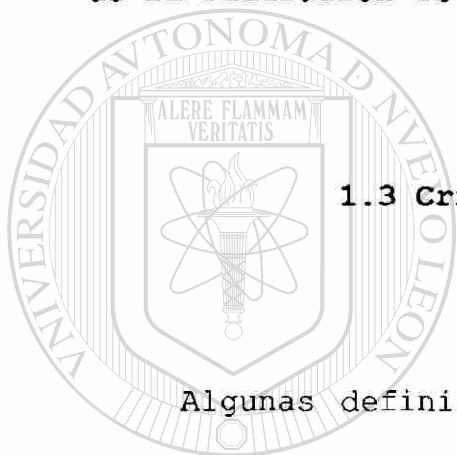
Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales-
Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada
en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de
1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno
de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial
de la Federación** el 11 de febrero de 1987.



1.3 Criterios de Calidad del Agua

Algunas definiciones que se utilizan al hablar de la
calidad del agua son la siguientes:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Metales pesados y cianuros.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Son aquellos que, en concentraciones por encima de
determinados límites, pueden producir efectos negativos en
la salud humana, la flora o la fauna. Incluso el
tratamiento bioquímico de las aguas de desecho mediante
lodos activados, puede dificultarse debido a la presencia
de metales pesados y cianuros, los cuales son capaces de
inhibir la actividad de los microorganismos.

En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran las siguientes especies: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

Carga contaminante.

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

Condiciones particulares de descarga.

El conjunto de parámetros hidrométricos, físicos, químicos y biológicos, en combinación con 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.

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 oxígeno (DBO₅), nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno de nitritos y nitratos, determinadas por el método Kjeldahl y expresadas en 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 para la salud humana, la flora o la fauna. En lo que corresponde a esta

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuerpo receptor.

Se llama así a 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.

1.3.1 Contenido de Sales Solubles

La dureza de las aguas naturales es producida sobre todo, por las sales de calcio y magnesio; aunque también pero en menor proporción, por el hierro, el aluminio y otros iones metálicos. La dureza debida a los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición, operación que al mismo tiempo esteriliza al agua. La dureza residual se conoce como dureza permanente. Las aguas con dureza debida a calcio y magnesio pueden ablandarse añadiéndoles carbonato de sodio y cal (proceso cal-soda de ablandado), o haciéndolas pasar a través de zeolitas naturales o artificiales, capaces de retener los iones metálicos que producen la dureza, mientras a manera de intercambio liberan iones sodio hacia el agua.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El efecto nocivo de las sales solubles, se debe a que produce presiones osmóticas en el suelo que esta en contacto con las raíces de las plantas, las cuales, al pasar de ciertos valores, ocasionan disminuciones en los rendimientos o pérdidas totales de las cosechas. Estos efectos se manifiestan en forma diferente de acuerdo con el tipo de cultivo y las etapas de desarrollo. ¹²

1.3.2 Criterios para Evaluar el Agua Destinada al Uso Agrícola.

Una vez cubiertas las necesidades de agua para fines domésticos, de servicios públicos urbanos y abrevaderos de ganado, el artículo 27 de la Ley Federal de Aguas, establece que el uso que les sigue a los anteriores, en orden de importancia, es el riego de terrenos.

En el agua destinada al riego agrícola es necesario tomar en consideración la calidad de la misma en relación al tipo de planta que va a cultivarse y a los suelos que se encuentran en el área de riego.

Las relaciones complejas que existen entre el agua, el suelo y el cultivo dan lugar a la existencia de un equilibrio muy delicado, el cual puede ser alterado, significativamente, si las aguas utilizadas para riego no reúnen las condiciones de calidad adecuadas.

En México, no se cuenta con un reglamento que determine los parámetros más importantes, y sus concentraciones límites, que pueden estar presentes en las aguas para uso agrícola.

En términos generales, se puede decir que son tres los criterios principales que permiten juzgar la conveniencia o limitación del agua con fines de riego de cultivo agrícola.

Estos criterios son:

- a) El contenido de sales solubles
- b) El efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos
- c) El contenido de elementos tóxicos para las plantas.

El contenido de sales se estima por medio de la conductividad eléctrica, cantidades elevadas originan disminución en la disponibilidad de agua en la zona radical, con la consiguiente reducción de rendimientos debida al efecto osmótico.

La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y a los gases, y conduce consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aeración.

Las aguas de mala calidad con alto contenido de metales pesados, pueden además, producir o potenciar los efectos tóxicos en los cultivos. ¹³

1.3.2.1 Degradación del Suelo

Los suelos constituyen un puente entre los elementos bióticos y lo inerte; en los suelos se halla el sustrato básico para la producción y en ellos se desarrollan procesos esenciales para la conservación de los ecosistemas. Los suelos son también un depósito de carbono y bajo ellos se hallan la riqueza mineral y el agua que utilizamos los seres vivos.

La degradación de los suelos se refiere al efecto negativo sobre las características físicas, químicas y biológicas de ellos, todo lo cual altera su capacidad de sustentar la producción de biomasa, de infiltrar el agua y de capturar carbono.

La degradación del suelo se inicia con la alteración de los ecosistemas naturales, acelerándose en la medida en que las actividades productivas no contemplan medidas destinadas a su manejo y conservación. El deterioro de los

suelos provoca la degradación de la tierra, fenómeno conocido como desertificación, que se refiere al proceso que desemboca en la pérdida de la capacidad de la tierra para desarrollar algún tipo de vida y por consiguiente, sostener actividades productivas primarias. Esta condición está asociada a la pobreza rural y a la pérdida de servicios ambientales.

La pérdida de calidad y cantidad de suelo puede deberse a varios procesos: erosión, salinización, contaminación diversa, mal drenaje, acidificación, laterización y pérdida de la estructura del suelo, o a una combinación de dos o más de esos procesos.

El proceso de degradación más importante es la pérdida de suelo por acción del agua, el viento y los movimientos en masa y, más localizadamente, por la acción de los vehículos y el pisoteo de humanos y animales. Aunque sólo es grave en algunas áreas, sus efectos acumulativos y de largo plazo ofrecen abundantes motivos de preocupación. La pérdida de las capas u horizontes superiores, los cuales contienen a la materia orgánica y nutrientes, y el adelgazamiento de los perfiles del suelo, reducen el rendimiento de las cosechas en suelos degradados.

La salinización es la concentración anormalmente elevada de sales (de sodio por ejemplo) en el suelo, debida a la fuerte evaporación. Se observa a menudo asociada a la irrigación con aguas cuyo alto contenido de sales disueltas conduce eventualmente a la muerte de las plantas y a la pérdida de estructura del suelo.

Causas frecuentes de contaminación del agua son los residuos de las granjas y los lodos de desecho del tratamiento de aguas residuales, estos últimos se sabe que pueden contener concentraciones elevadas de metales pesados.

Los suelos también se han visto contaminados por isótopos radiactivos procedentes de las pruebas nucleares y, a escala restringida, aunque localmente muy grave y de largo alcance en tiempo, los accidentes en centrales nucleares como el caso ya antes mencionado de Chernobyl en 1986.

La contaminación puede deberse también a otros residuos químicos o a subproductos de procesos industriales.

Algunos suelos son naturalmente ácidos, pero también pueden acidificarse por la acción de la lluvia ácida o de la deposición en seco de gases y partículas ácidas. La lluvia ácida tiene un pH inferior a 5.6.

La principal causa atmosférica de la acidificación es la creciente presencia de óxidos de azufre y nitrógeno emitidos por la quema de combustibles fósiles que fácilmente encuentran su camino hacia la atmósfera, en donde permanecen suspendidos hasta que la lluvia o la nieve los arrastran y hacen precipitar a tierra.

La pérdida de materia orgánica debida a la erosión y a la oxidación degrada el suelo y en especial lo afecta en su valor como medio y sostén para el cultivo.

La pérdida de materia orgánica reduce también la estabilidad de los agregados del suelo que, bajo el impacto de las precipitaciones, pueden dispersarse.

Este proceso puede llevar a la formación de una corteza sobre el suelo que reduce la infiltración del agua e inhibe la germinación de las semillas.

La pérdida de estructura por parte del suelo puede deberse a la pérdida de materia orgánica, a la compactación producida por la maquinaria agrícola y el cultivo en estaciones húmedas, o a la dispersión de los materiales en el subsuelo, sin dejar de lado los cambios en la estructura cristalina de las arcillas que componen a los suelos y que son debidos a las altas concentraciones salinas en el agua de irrigación. ¹⁴

1.3.3 Índices para Evaluar el Agua Destinada a la Ganadería

Según lo establecido en el artículo 27 de la Ley Federal de Aguas "el agua destinada a abrevaderos de ganado es la que sigue en orden de importancia a los usos domésticos y servicios públicos urbanos."

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El agua destinada al consumo del ganado generalmente debe de cumplir con los requisitos establecidos para el agua potable, sin embargo existen diferencias notables que dependen fundamentalmente del tipo de ganado que habrá de ingerir el agua.

Los criterios de calidad del agua para abrevaderos están basados en el uso típico, ya que la cantidad de sustancias que puede ingerir el ganado depende de la concentración de éstas y de la cantidad de agua ingerida.

La Tabla 1.2 muestra los valores típicos de concentración salina junto con criterios de uso recomendado.¹⁵

Los efectos que pueden tener las sustancias tóxicas sobre los animales varían según el estado general del animal.

En la evaluación de los criterios no sólo es importante la salud del animal, sino también de las personas que lo consumen.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El parámetro más importante de los criterios de calidad del agua para este uso particular es la concentración de sales disueltas, ya que una alta concentración de estas puede causar alteraciones osmóticas serias e incluso hasta la muerte del animal.¹⁵

SALINIDAD TOTAL (mg/L)	USO RECOMENDADO
< 1,000	Excelente para todo tipo de ganado, mayor y menor.
1,000-3,000	Satisfactorio para todo tipo de ganado, puede provocar diarrea leve y temporal.
3,000-5,000	Satisfactoria para el ganado mayor, puede provocar diarrea temporal o no ser aceptada por los animales en un principio. En la avicultura puede provocar un incremento en mortandad y limitar el crecimiento.
5,000-7,000	Se puede utilizar con relativa seguridad en vacunos, equinos, ovinos y porcinos. Evitar el uso en hembras preñadas o animales lactantes. Inadecuada para avicultura.
7,000-10,000	Inaceptable para avicultura y posiblemente para porcicultura, considerablemente riesgoso emplearla en vacas, yeguas u ovejas preñadas, así como en los especímenes jóvenes. Su uso se debe evitar aunque los especímenes mayores pueden subsistir bajo ciertas condiciones.
> 10,000	Los riesgos al emplear esta agua son tan considerables que no se recomienda su utilización bajo ninguna circunstancia.

TABLA 1.2 Valores Típicos de Concentración Salina junto con
Criterios de Uso

1.3.4 Valores Máximos Permisibles de Substancias Tóxicas en el Agua

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como tampoco en las aguas y bienes nacionales, todos aquellos materiales o residuos considerados peligrosos conforme a la regulación vigente en la materia (Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996).¹¹

La tabla 1.3 muestra los valores limitantes para una variedad de parámetros.

Los límites máximos permisibles establecidos en la ~~columna con el encabezado de "instantáneo"~~ son únicamente valores de referencia.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En el caso de que el valor de cualquier análisis exceda al instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente, en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (en miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 1.1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-002 ECOL-1996

Tabla 1.3 Valores Limitantes para una Variedad de Parámetros

1.4 Parámetros Indicadores de la Calidad del Agua

Se toma como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y del tratamiento de aguas residuales vertidas a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C (cuarenta grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples.

Se permitirá descargar con temperaturas mayores siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente, por medio de un estudio sustentado, que ello no causa daños al sistema.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

1.4.1 Potencial de Hidrógeno

La determinación del pH es muy útil en la ingeniería del medio ambiente. Por ejemplo, en los sistemas de abastecimiento de aguas el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de corrosión.

El método se basa en la teoría de la disociación electrolítica.¹⁶ Esta teoría establece que cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción considerable del soluto se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos, esto es:



El intervalo permisible de pH (potencial de hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 5.5 (cinco punto cinco unidades que corresponde a acidez) a 10 (diez unidades que corresponde a basicidad), determinado por medición para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible en ninguna de las muestras simples.

1.4.2 Conductividad

La determinación de la conductividad eléctrica de las aguas proporciona un medio rápido y conveniente de estimar la concentración electrolítica. La determinación es efectuada por potenciometría, como la de pH, sirviendo de manera directa para estimar el contenido de sales disueltas. ¹⁶ Como regla general, mientras mayor sea la conductividad del agua, mayor es la concentración de sales disueltas en ella.

Esta propiedad depende de la fuerza iónica del agua, relacionada con las diversas sustancias disueltas, sus concentraciones actuales y relativas y la temperatura a la cual se hace la medición.

1.4.3 Alcalinidad Total

La alcalinidad es causada por la presencia de diversas especies entre las que se mencionan como principales a los carbonatos, bicarbonatos e hidroxilos. Esta determinación se hace con la finalidad de conocer la capacidad del agua para neutralizar a los ácidos. ¹⁶

La presencia de la alcalinidad en las aguas es de vital importancia, ya que ella puede ocasionar fuertes problemas durante el tratamiento para hacerla potable, fundamentalmente porque la alta alcalinidad no permite la acción de los coagulantes de hierro y aluminio durante el tratamiento.

1.4.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en las aguas de desecho nos indica si los cambios biológicos observados son debidos a organismos anaerobios o aerobios, además el oxígeno disuelto en aguas naturales es vital para mantener las condiciones aerobias en las aguas que reciben descargas de

las industrias y preservar el equilibrio natural en el agua.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La determinación de oxígeno disuelto se hace por el método de Winkler y se basa en la oxidación del Ion mangánico por el oxígeno disuelto en un medio fuertemente alcalino. ¹⁶ Posteriormente, al acidificar la solución en presencia de un yoduro, el Ion mangánico presente oxida al yoduro y libera yodo en una cantidad equivalente al oxígeno disuelto que existía originalmente en la muestra.

1.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La información que se obtiene de los análisis de DBO en aguas de desecho es de vital importancia en el diseño de plantas tratadoras de aguas residuales, el DBO es un factor a considerar al momento de determinar el tamaño de ciertas unidades como filtros biológicos o unidades de lodos activados.

El método utilizado para determinar el DBO se basa en la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos a fin de efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en el agua. ¹⁶ Ello se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto

final al cabo de 5 días de incubación a 21^oC. El resultado obtenido se conoce como DBO₅.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1.4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La prueba de DQO, ampliamente utilizada en el análisis de aguas de desecho industriales junto con la información de DBO, es de gran ayuda en la determinación de las condiciones de toxicidad, así como de la presencia posible de organismos resistentes a las condiciones presentes.

El método utilizado para determinar el DQO en agua se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, mediante una solución valorada de dicromato de potasio. ¹⁶ El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amónico en presencia del complejo ferroso de orto-fenantrolina como indicador interno.

1.4.7 Sólidos en Todas sus Formas

El conocimiento de la cantidad de sólidos presentes en agua destinada al consumo humano es de mucha importancia pues estos resultados indicarán si el agua se halla dentro de los parámetros de calidad.

Los límites máximos permisibles para los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996,¹⁰ o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

1.4.8 Grasas y Aceites

Las grasas y aceites deben ser removidas ya que debido a su baja solubilidad presentan una tendencia a separarse de la fase acuosa. La presencia de grasas y aceites también afecta a la capacidad de los sistemas de drenaje y conducción de aguas de desecho, ya que la grasa se adhiere a las paredes interiores de los ductos, reduciendo el área interior de las tuberías.

1.4.9 Fósforo

El fósforo, junto con varios compuestos de nitrógeno, es un nutriente importante para el crecimiento de los organismos y puede ser el factor limitante de la productividad primaria en los cuerpos de agua. Por otro lado, cantidades pequeñas de algunos fosfatos se agregan al tratamiento de agua para calderas.

1.4.10 Nitrógeno

El nitrógeno orgánico procedente de restos de plantas, animales y de productos excretados, se descompone rápidamente, produciendo amoniaco y sales amoniacales. ¹⁶

La química del nitrógeno es compleja, debido al gran número de estados de oxidación que puede tomar el nitrógeno, y cómo éstos pueden influir en las bacterias y otros organismos vivos.

1.4.11 Detergentes

Los detergentes (SAAM) causan problemas de espumas en aguas superficiales, lagos, plantas de lodos activados y, en general, en sitios donde se mezclan aguas residuales que los contengan.¹⁶ Los detergentes contribuyen con concentraciones muy variables a la contaminación de las aguas residuales, generalmente aportando concentraciones de 1 a 20 mg/L.

1.4.12 Dureza

Las aguas naturales contienen diversas cantidades de sales y son de composición muy variada.

La dureza del agua se debe principalmente a las sales solubles de calcio y magnesio, los cuales reaccionan con el jabón para dar sales insolubles principalmente estearatos, palmitatos, oleatos y otros.

La presencia de dureza en las aguas para consumo humano es de vital importancia pues cuando ella es alta provoca acumulamiento de minerales en órganos y tejidos del cuerpo humano, dando origen a la formación de piedras en los riñones. Por otra parte, algunos usos industriales del agua evitan la dureza pues es causante de incrustaciones, principalmente en equipos de transferencia de calor, evaporadores, calderas, etc.



1.5 Panorama actual

La presencia de agua en la naturaleza, en cantidad y calidad suficiente, y en tiempo y espacio adecuado, es imprescindible para mantener el equilibrio de todos los ecosistemas. Esta aseveración debe tomarse en cuenta especialmente en el caso de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, debido a que de éstos se extrae el agua para consumo humano y para actividades productivas, y son los directamente afectados en los casos en los que los aprovechamientos sean excesivos, las descargas rebasen la capacidad de depuración natural del cuerpo de agua, o la modificación de sus estructura natural

no considere la prevención y mitigación de los impactos ambientales generados.

Actualmente, en México el 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo, con lo que se abastecen aproximadamente 75 millones de personas (55 millones de los mayores centros urbanos y prácticamente 20 millones del medio rural). El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios, bien sea en las regiones áridas, donde constituye la fuente de abastecimiento más importante y a menudo única, o en las diferentes ciudades del territorio las cuales han tenido que recurrir a ella para cubrir sus crecientes requerimientos de agua.¹⁷

Así mismo, el deterioro de la calidad del agua de numerosos acuíferos, principalmente por intrusión salina y migración de agua fósil de mala calidad, ha sido provocado por la sobreexplotación, así como por la contaminación generada en las ciudades y zonas agrícolas.

La mayoría de los cuerpos de agua superficial del país reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola o pecuario, lo

que ha ocasionado grados variables de contaminación que limitan el uso directo del agua.

La contaminación, sobre todo por los efluentes municipales e industriales, degrada la calidad del agua. La capacidad instalada de los sistemas de saneamiento municipal equivale a 45% de la totalidad de las descargas.¹⁸

En materia de tratamiento de aguas residuales a diciembre de 2000, se tenían en inventario 1479 plantas de tratamiento industriales, con una capacidad de diseño de 41.5 m³/s, de las cuales operan 1399 con un gasto de 25.3 m³/s (aproximadamente 15% de las descargas).¹⁹

La reutilización del agua se constituye como una alternativa de gran relevancia en los estados áridos y semiáridos del país, donde uno de los principales problemas es la escasez del recurso.

Si bien, a la fecha el desarrollo económico de la región noreste del país (donde se encuentra ubicada la planta), es sobresaliente, en el futuro este desarrollo se podría ver seriamente afectado por la limitación del recurso agua, el cual presenta una escasez natural, tanto

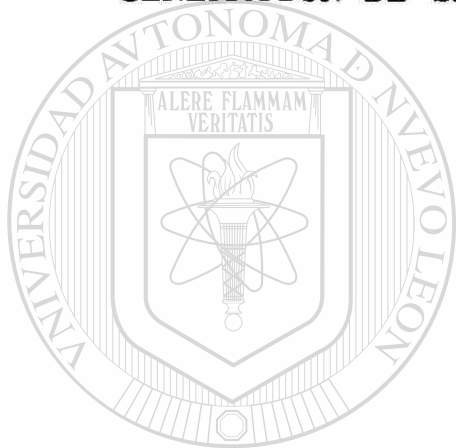
superficial como subterránea, por lo que de continuar con las tendencias actuales, de extracciones superiores a la recarga, un deficiente e inadecuado manejo del agua, en los sectores agrícola y público urbano, el vertimiento incontrolado de contaminantes, principalmente por la industria química, así como el constante deterioro de las fuentes de abastecimiento, se limitaría aun más el aprovechamiento de las mismas, con lo que se lograría una competencia mayor por el recurso, a lo que se añadirían los problemas para conseguir el abasto a los principales núcleos urbanos y centros de producción agrícolas e industriales.²⁰

Dado lo anterior, el proceso propuesto evitará la disposición o tratamiento municipal de un efluente generado en la industria del papel; se propone el desarrollo de esta investigación que concluirá con la puesta en marcha de una planta de evaporación de triple efecto, para dar tratamiento a un efluente salino proveniente de la planta papelería y de esta manera cumplir con la política de cero descargas, como se verá más adelante.

CAPÍTULO 2

GENERACIÓN DE SALMUERA EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL

RECICLADO



2.1 Introducción

El aumento de la demanda de papel para la vida cotidiana ha multiplicado la posibilidad de utilizar papel de desecho y cartón como materia prima para producir la pasta de papel; con ello se consigue un gran ahorro de energía en el proceso de fabricación de la pasta virgen (a partir de celulosa) y la ventaja adicional de no tener que utilizar madera de los bosques. Las técnicas de reciclaje han evolucionado con mucha rapidez desde la II Guerra Mundial, y los dos sistemas principales de recuperación se aplican sobre papel impreso, que incluye el lavatorio de la

tinta, y sobre papel de envoltorio y cartón, de mayor rugosidad y porosidad y con ausencia de grabados.²²

Estos son procesos que demandan una cantidad muy alta de agua para producir el papel reciclado, del orden de 100 a 400 ton de agua por ton de papel,²⁴ por lo que la instalación de equipos para tratar el agua, en vez de simplemente desecharla, deben de considerarse desde la concepción misma del proyecto o de lo contrario estos proyectos estarían económicamente prohibidos por la cantidad de agua residual que generan y de la cual habría que disponer adecuadamente.

Dado que esta forma descrita de producir papel es un proceso de reciclado, el cual evita la degradación de uno de los recursos no renovables mas amenazados en nuestros días como lo son los árboles, y a la vez hace necesario cuidar de otro recurso como lo es el agua, la cual después de utilizarse en el proceso productivo debe ser sometida a varios tratamientos que incluyen un primario mediante Flotación por Aire Disuelto y filtros rotatorios de tipo Tambor, un tratamiento secundario que consiste en un reactor con lodos activados y por último un tratamiento terciario que consiste en una micro filtración y una

ósmosis inversa. Es en el último tratamiento en donde se genera la salmuera que posteriormente debe tratarse en la planta evaporadora.

La Figura 2.1 muestra el diagrama de flujo simplificado del proceso de obtención de papel reciclado, en donde se incluye también la generación de salmuera.

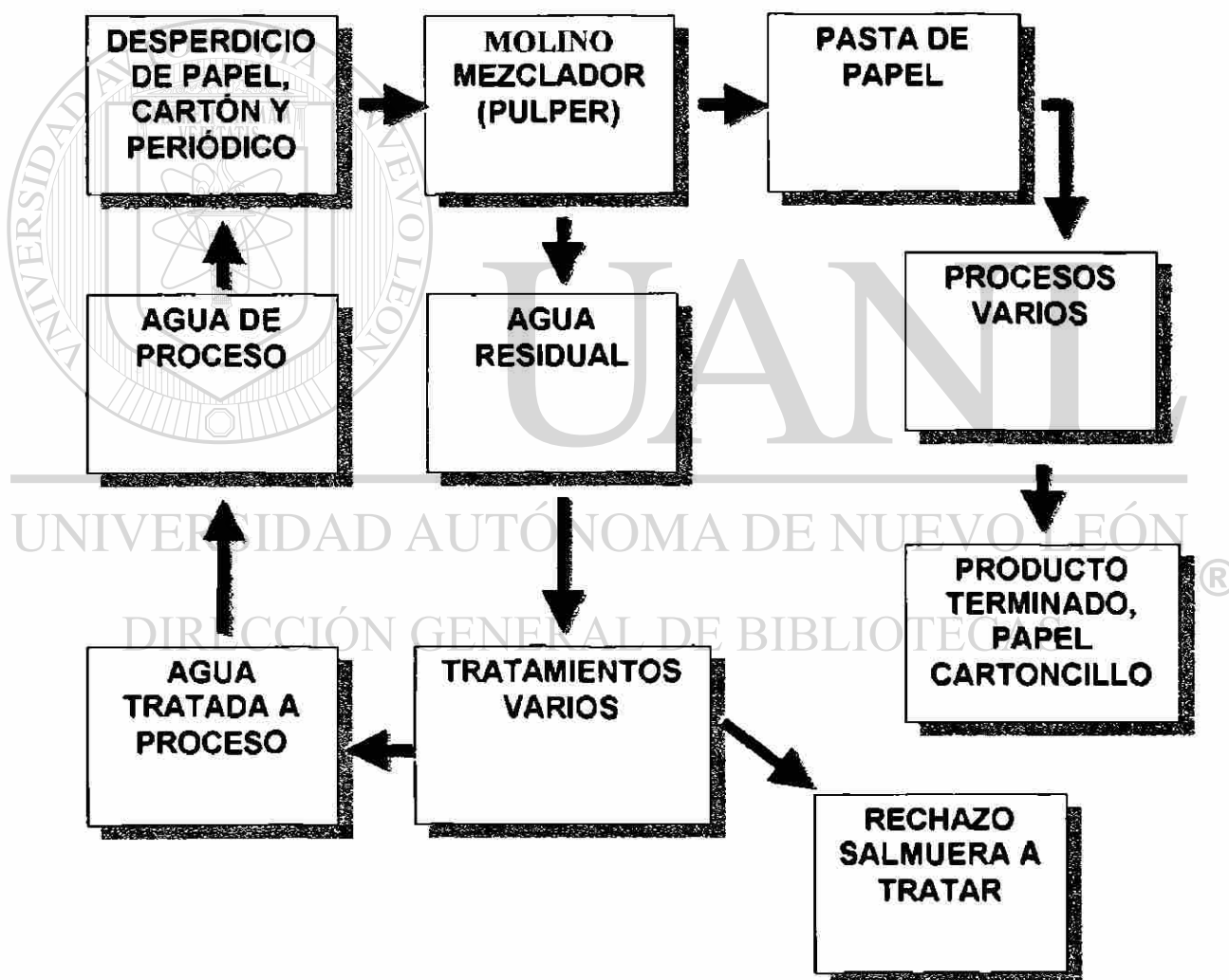


Figura 2.1, Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Papel Reciclado, donde se Genera la Salmuera.

2.2 Necesidad de tratar la Salmuera por Razones Legales y Económicas

2.2.1 Razones Legales.

Las normas oficiales mexicanas, específicamente NOM-001-ECOL-1996¹⁰ y NOM-002-ECOL-1996,¹¹ establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, así como los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal respectivamente.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

A partir de 1997 se toma como base de pago la norma ecológica NOM-001-ECOL-1996, en ésta norma se establece el monto del derecho, de acuerdo con el excedente al límite permitido de los parámetros listados en la norma referida. Para garantizar el cumplimiento de las disposiciones legales se efectúan visitas de inspección y medición, así como verificación del cumplimiento de las disposiciones fiscales que tiene el contribuyente en materia de aguas residuales.

La legislación vigente establece que todos los usuarios deben medir el volumen de agua que extraen, así como el volumen y la calidad del agua que descargan y otorga facultades a la CNA para verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas en sus títulos de concesión o asignación.

Las acciones para el control de la contaminación se realizan mediante el impulso del cumplimiento de las normas ecológicas para descargas de aguas residuales y de las condiciones particulares de descarga, existentes para el giro de las actividades económicas y de acuerdo con las características de los cuerpos receptores y usos ulteriores del agua.

Mientras que el reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, establece que, Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores deberán: Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión" además de tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, para dejarlas en las condiciones particulares de descarga que se les hubieren fijado, la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua²³ en su artículo 276

establece la obligación del pago de derechos por uso o aprovechamiento de cuerpos receptores del dominio público, a quien descargue en forma permanente o fortuita aguas residuales, mientras que en el artículo 278 de la referida Ley se establecen las cuotas.

2.2.2 Razones económicas.

El mercado de la sal industrial es muy variable y se mueve por la ley de la oferta y la demanda por lo que los contratos para proveer de sal industrial a los diferentes clientes se efectúan por separado y se toma en cuenta la cantidad a vender así como el flete y las especificaciones del cliente, pero el precio de venta debe oscilar entre los US \$60 Dlls. ó US \$70 Dlls. por tonelada de sal. Lo cual lo hace un proceso atractivo desde el punto de vista económico.

2.2.3 Usos de la Sal

La sal común (NaCl) tiene más de trece mil aplicaciones y usos en diferentes campos. Algunos de los principales usos de la sal son descritos enseguida.

❖ **Alimentación Humana:** La sal tiene un papel muy importante en la alimentación humana y también es usada en gran escala para la conservación de alimentos.

❖ **Industria Química:** Hace posible la fabricación de vidrio, jabón, plástico, papel, pinturas, hule sintético, cosméticos, medicamentos y pilas eléctricas; es fundamental en procesos industriales como Cloro sosa, tratamiento de aguas, petroquímica.

❖ **Salmuera (disolución de sal común en agua):** Suele emplearse en muchas instalaciones frigoríficas para

transportar el frío desde el líquido -o gas refrigerante- hasta las cámaras de refrigeración; esto

se debe a la baja temperatura de congelación de la salmuera, que le permite transmitir el frío sin cristalizarse.

❖ **Conservación Peletera:** Después de pesar las pieles, se efectúa la salazón con objeto de permitir conservarlas durante el transporte y almacenamiento, hasta su curtido.²¹

2.2.4 Principales Sistemas de Producción de Sal en México.

Existen diferentes métodos de producción de sal solar en México, los más utilizados son:

❖ **Salinas marinas**

Este método de producción abarca el 95% de sal solar producida en México y consiste básicamente en colocar agua de mar en estanques y proceder a evaporarla a través de la acción combinada de energía solar y viento. Cuando la salmuera alcanza su punto de saturación da inicio a la cristalización de cloruro de sodio; en este procedimiento podemos encontrar variantes como salinas que efectúan

cristalización fraccionada, cristalización con salmueras no depuradas y salinas de tipo artesanal.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

❖ **Producción de sal refinada al alto vacío**

Este proceso se lleva a cabo en una planta específicamente diseñada para este fin, consta esencialmente de evaporadores e intercambiadores de calor, también se le conoce como refinería. Una de las ventajas del proceso de producción de sal por medio de refinación es que se puede obtener sal muy cristalina, blanca, de alta

pureza (99.5%) y libre de materia extraña.

❖ **Sal en las cuencas endorreicas**

En México existen grandes áreas salinas ubicadas en el interior del país, sin embargo, actualmente estas explotaciones salineras, por el poco volumen de producción y por su calidad variable, han quedado limitadas a sus mercados locales y atienden a cierto tipo de consumo que no requiere sal de alta calidad (sales para forraje y curtiduría principalmente). Este tipo de explotación consiste generalmente en abrir pozos para aprovechar las salmueras subterráneas o tajos longitudinales para aprovechar afloramientos o depósitos superficiales de sal, se bombean las salmueras a vasos evaporadores donde se

depositan las sales que cristalizan. La Figura 2.1 muestra gráficamente el consumo de sal de nuestro país a lo largo de 1994 a 1999.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

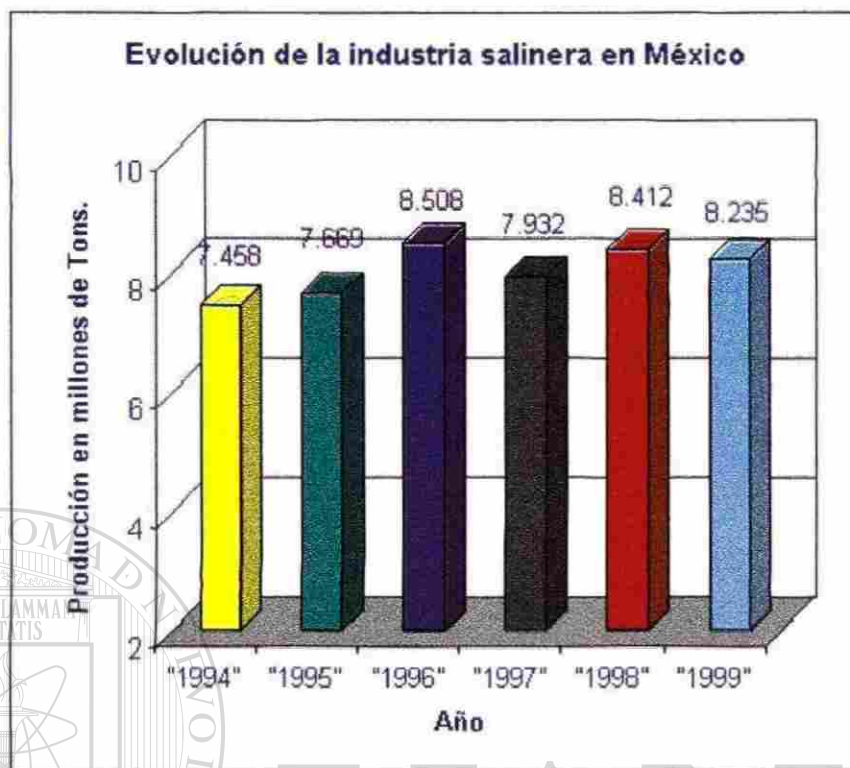


Figura 2.2 Consumo nacional anual de sal (NaCl) en el período de 1994 a 1999.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

2.3 Objetivos del Trabajo

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El objetivo de este trabajo es el de desarrollar la ingeniería básica para procesar un efluente salmuera proveniente de una planta papelera, con la finalidad de separar las sales disueltas mediante evaporación total desde la solución. El proceso propuesto evitará que deba buscarse la disposición de esa salmuera, acción que sería económicamente lesiva ya que los costos por disposición

serían muy elevados debido a las altas concentraciones salinas en el efluente.

Para lograr este propósito se adquirió una planta usada de evaporación, la cual deberá adaptarse a las necesidades de operación, buscando usar el total o la mayor parte de los equipos que lo componen.

2.3.1 Alcance del Trabajo

- ❖ Comprender el comportamiento de la salmuera al evaporarse.
 - ❖ Desarrollar el balance de materia y energía.
-
- ❖ Elaborar el diagrama de flujo con las operaciones unitarias involucradas.
 - ❖ Efectuar los cálculos para definir el tamaño de los equipos.
Definir las operaciones paralelas o de servicio.
 - ❖ Elaborar los diagramas de tuberías e instrumentos.
 - ❖ Proporcionar información para el arreglo apropiado del equipo.

2.4 Volumen de Salmuera de este Caso Práctico

2.4.1 Bases de diseño

El flujo a procesar para fines de calculo es del orden de los 140 metros cúbicos de salmuera por día, y pensando a futuro se puede tener una capacidad de procesamiento de hasta 200 metros cúbicos por día, que es la máxima capacidad de la planta evaporadora, se toma en cuenta que al año se tienen 350 días de operación.

Del análisis químico de la salmuera se obtienen los siguientes datos en base al contenido iónico, que se presentan en la Tabla 2.1, además de una densidad de 1.1 expresada en kg por litro.

Por otra parte la salmuera analizada en base al contenido de sales, se muestra en la tabla 2.2, y nos da un total de 152.67 gr de sales disueltas por litro.

Ion	Contenido en gr/L
Sodio	50.9
Potasio	10.2
Sulfatos	14.4
Cloruros	47.8

Tabla 2.1, Análisis de la Salmuera en Base Ionica

Especie	Concentración en gr/L
NaCl	111.91
KCl	19.46
Na ₂ SO ₄	21.30
H ₂ O	947.33

Tabla 2.2, Análisis de la Salmuera en Base al Contenido de Sales

Con lo anterior se deduce que el flujo de salmuera a evaporar será del orden de 9.559 toneladas por hora, con un contenido de sales en la salmuera diluida del orden de 14 %

La planta se diseñará a capacidad futura y únicamente las tuberías que manejan sólidos se dimensionarán a condiciones actuales para evitar sedimentación.

2.5 Proceso Propuesto

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El principio de operación de este proceso consistirá en concentrar la salmuera al consumirse el agua por evaporación, hasta alcanzar por saturación su precipitación y cristalización, siendo las etapas involucradas en este proceso las siguientes:

Primero: el calor se transfiere del medio térmico hacia la salmuera. La transferencia generalmente sucede a través de una superficie sólida.

Segundo: la masa y el calor se transfieren simultáneamente desde el líquido (salmuera) hacia la fase vapor.

El proceso de evaporación es equivalente a una separación de una sola etapa. La etapa que controla el proceso es la transferencia de calor desde el calefactor a la salmuera.

El proceso propuesto permite la producción de sales de cloruro de sodio y potasio principalmente (NaCl y KCl), a partir del efluente salino de la planta, permitiendo con esto la integración en la búsqueda de una planta con "Cero Descargas".

El efluente se recibe bombeado desde la planta de tratamiento de aguas de la planta papelera y consiste en una salmuera al 10% (aproximado) en peso, con sales disueltas de cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl) y sulfato de sodio (Na_2SO_4).

El producto final se obtendrá en forma de sales cristalizadas con un 3% de humedad, a las cuales se les buscará su posterior comercialización como sales de baja concentración en el mercado alimenticio de ganado (previa eliminación de los sulfatos presentes), o en aplicaciones similares.

El área de evaporación, además de brindar la oportunidad del aprovechamiento de este importante efluente, permite cumplir con las leyes y reglamentos ecológicos vigentes en nuestro Estado.

Con lo anterior se evitará disponer de esta salmuera cuyo contenido podría poner en grave riesgo tanto a cuerpos de agua, actuando como receptores, como a suelos.

El área de la planta de evaporación utilizará como materia prima el efluente salino proveniente de la planta papelera (salmuera diluida) y como servicios adicionales los siguientes materiales: vapor de agua, agua para las torres de enfriamiento, aditivos (inhibidores de corrosión), energía eléctrica, gas para la caldera y agua cruda.

2.5.1 Breve Descripción de los Experimentos en Laboratorio

Para el trabajo experimental se contó con un evaporador de triple efecto en el que se realizaron las mediciones típicas de temperatura, gradientes de temperatura, concentraciones en la alimentación y la descarga y otros parámetros útiles. Se dispuso también de un cristalizador de acero inoxidable donde se pudo regular la presión y la temperatura de trabajo, con lo que se buscó alcanzar los dos siguientes objetivos:

a) Validar Las Condiciones De Operación Calculadas Para Concentrar La Salmuera En Un Evaporador De Triple Efecto.

b) Obtener Cristales Como Producto De La Concentración De La Salmuera.

Para llevar a cabo dichos objetivos se trabajó en las instalaciones del CIQA en Saltillo, Coahuila, por ser las más adecuadas para dicho fin.

2.6 Resumen de los Objetivos del Trabajo

El objetivo del presente trabajo es lograr procesar una salmuera procedente de un sistema productivo industrial con la finalidad de separar las sales disueltas mediante la evaporación total del solvente (agua).

Se ha fijado como prioridad cumplir con la política de cero descargas y convertir los contaminantes del agua en productos comerciables, utilizando para este fin un equipo de evaporación de triple efecto.

El alcance de esta investigación y diseño abarca:

~~Experimentación a nivel laboratorio, Ingeniería Conceptual e Ingeniería Básica, incluyendo un estudio de factibilidad para comercializar los productos obtenidos.~~

El estudio incluye obviamente el dimensionamiento, selección y diseño de equipos de transferencia de calor, como son evaporadores de triple efecto, calderas, bombas y condensadores a nivel laboratorio y planta.

2.7 Justificación del Proceso Propuesto

Las razones de índole sanitaria y ambiental expuestas en el primer capítulo, junto con las razones legales y económicas descritas en las secciones 2.2.1 y 2.2.2 justifican el proceso de concentración de la salmuera producida por la planta papelera.

La disposición directa de la salmuera al ambiente, suponiendo que eso fuese permitido, ocasionaría serios daños a suelos y cuerpos de agua. En el caso de los suelos, las sales NaCl y KCl causan cambios en las estructuras cristalinas de los minerales arcillosos que componen a los suelos y les modifican sus propiedades mecánicas y, lo que es más importante, sus características de retención de agua tornándolos en más áridos e inapropiados para la agricultura.

Los cuerpos de agua, superficiales o subterráneos, son también muy susceptibles a daños causados por descargas con altos contenidos en sales. El efecto puede ser adverso a comunidades biológicas o a individuos aislados, dependiendo

de la concentración de las descargas y del tamaño o caudal del cuerpo receptor.

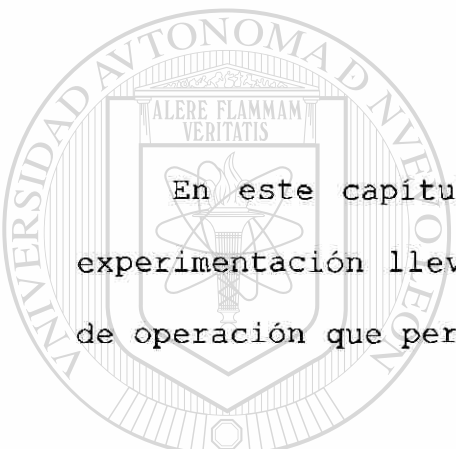
Vale la pena señalar también los aspectos económicos involucrados en la directa disposición de la salmuera en comparación a las ventajas que ofrece su tratamiento.

No es posible la disposición directa de la salmuera a menos que se pague una cuota muy alta o bien a alguna compañía que ofrezca el confinamiento de este tipo de residuo. El precio depende del tipo y volumen del residuo, teniéndose en este caso que la erogación para la compañía papelera sería mensualmente del orden de \$45,000, monto que se calcula a partir del caudal diario y el costo unitario de disposición.

La alternativa de un tratamiento como lo es el proceso propuesto, trae la ventaja de concentrar y recuperar a las sales para tornarlas en un producto con posibilidades de comercializar. El costo del tratamiento, según se demostrará adelante, es menor al costo de disposición directa. La comercialización de las sales trae adicionalmente un ingreso potencial a la planta papelera, tema que en sus bases es tratado en los párrafos siguientes.

CAPITULO 3

TRABAJO EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS



En este capítulo se describe de manera detallada la experimentación llevada a cabo para obtener los parámetros de operación que permitirán el diseño a escala industrial.

Como primer paso se describen las Operaciones de Evaporación, Cristalización y Filtrado, así como las condiciones de operación apropiadas para la obtención de cristales de NaCl y KCl.

En la última parte se describen en detalle, los cálculos de diseño del sistema de evaporadores, junto con la operación de la planta de evaporación.

3.1 Generalidades

El efluente se recibe bombeado desde la planta de tratamiento de aguas de la planta papelera y éste se compone de una salmuera de aproximadamente 10% en peso que contiene predominantemente las sales disueltas de cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de potasio (KCl).

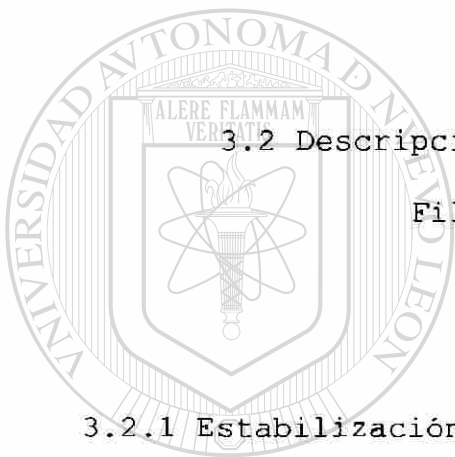
No sería apropiado disponer de la salmuera sin tratamiento previo, debido a su naturaleza y características, además de que económicamente puede aún ser aprovechada por sus constituyentes principales, NaCl y KCl. Para tal fin, se establecieron los siguientes objetivos: a)

Concentrar la salmuera por evaporación y b) Cristalizar los componentes principales de ella.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para llevar a cabo dichos objetivos se desarrolló el trabajo de validación experimental de las condiciones de las dos operaciones unitarias de que consiste este tratamiento de separación de sales. La investigación se efectuó en las instalaciones del Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA), en la Ciudad de Saltillo, Coahuila, por ser las más adecuadas para dicho fin.

Acerca del equipo empleado, se contó con un evaporador de triple efecto, en el que se realizaron las mediciones que normalmente se hacen en una planta real de evaporación. Se contó también con un cristalizador de acero inoxidable en donde se pueden regular las condiciones de presión y temperatura de trabajo, mismas que afectan a la cristalización.



3.2 Descripción de las Operaciones de Evaporación, Filtrado y Cristalización

3.2.1 Estabilización del Equipo Evaporador

a) Se siguió el manual de puesta en marcha del equipo evaporador.

b) Se regularon las condiciones de operación como temperatura, presión y flujos de alimentación y de condensado en todos los efectos, prestando suma importancia al nivel de condensado en cada efecto, a fin de lograr una operación segura del equipo de bombeo. La figura 3.1 muestra un diagrama esquemático del equipo evaporador.

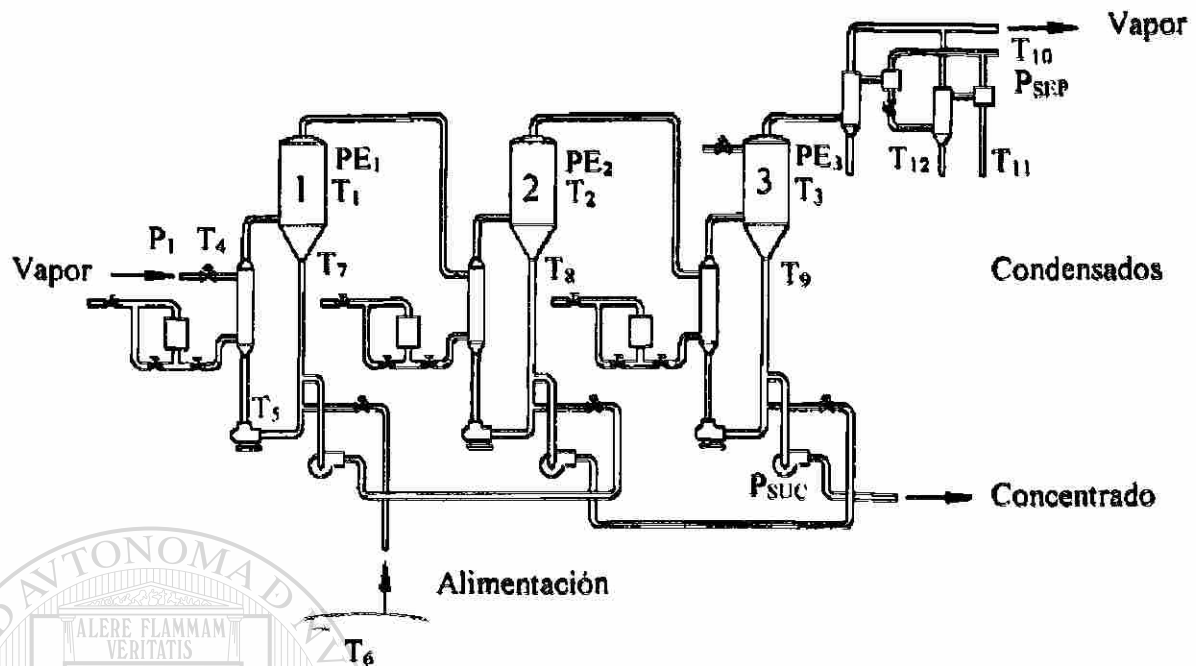


Figura 3.1 Esquema del evaporador de triple efecto utilizado.

3.2.2 Equipo de Cristalización y Filtración

a.-Carga del equipo

Se cargó el equipo de cristalización con 30 litros de salmuera concentrada obtenida del evaporador, ya que la capacidad del cristalizador es de 38 litros (10 galones) y, dependiendo del tiempo requerido para llevar a cabo la obtención del magma, se determinó el ritmo de trabajo.

b.-Medición de las condiciones

Se trabajó lo más cercanamente posible a las condiciones reales de operación, de presión y temperatura en el último efecto, de una planta evaporadora que trata salmueras de similares características a la de este proyecto.

c.-Obtención del producto

La salmuera concentrada obtenida, conocida también como magma, es una mezcla heterogénea de cristales y disolución saturada que, sometida a filtración para eliminar el exceso de la fase líquida, permite obtener los cristales de una forma más pura para su posterior análisis y comercialización.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.3 Parámetros de Control en el Evaporador

Una vez logrado el estado estable en la operación del evaporador, se efectuaron con las mediciones de control que se indican, resumidas en la tabla 3.1 a continuación.

PRESIÓN	
Alimentación de vapor de la caldera	P_1
Efecto 1	PE_1
Efecto 2	PE_2
Efecto 3	PE_3
Separador	P_{SEP}
Succión	P_{SUC}
TEMPERATURA	
<u>Vapor</u>	
Efecto 1	T_1
Efecto 2	T_2
Efecto 3	T_3
Alimentación	T_4
<u>Salmuera</u>	
Precalentador	T_5
Inicial	T_6
Efecto 1	T_7
Efecto 2	T_8
Efecto 3	T_9
<u>Agua de enfriamiento</u>	
Entrada	T_0
Salida	T_1
<u>Condensador</u>	
Final	T_{12}
NIVELES	
Tanque de alimentación inicial	V_1
Tanque de alimentación final	V_E
Tanque de condensado	V_C
CALIDADES DE LOS CONDENSADOS (DENSIDAD, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES)	
<u>Vapores</u>	
Condensado efecto 2	
Condensado efecto 3	
<u>Salmuera</u>	
Condensado efecto 1	
Condensado efecto 2	
Condensado efecto 3	

Tabla 3.1 Condiciones de Operacion Medidas Experimentalmente en las Diferentes Secciones del Equipo Evaporador.

En dicha tabla los datos son dados en referencia al diagrama esquemático mostrado en la figura 3.1.

Las mediciones se hicieron cada 15 minutos una vez alcanzado el estado estable. Se tomaron muestras de los condensados para su posterior análisis cualitativo y cuantitativo, de las sales presentes.

También se midieron los caudales o flujos en las diferentes líneas, las que básicamente son; alimentación de salmuera y alimentación de vapor (flujo de condensado).

3.4 Resumen de las "Corridas" Experimentales en el Evaporador

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.4.1 Primera "Corrida" Experimental: (Día 1°)

Se trabajó con un volumen inicial de 123 litros de salmuera diluida (densidad = 1.12 g/mL), mismo que podía ser repuesto en cualquier momento; se procedió durante 75 minutos tratando de estabilizar el sistema, obteniéndose las siguientes condiciones de operación:

EFEECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESIÓN MANOM.	PRESIÓN ABSOLUTA
1	102.0°C	52.4°C	9.2 "Hg	16.8 psia
2	70.0°C	80.0°C	-16.5 "Hg	4.2 psia
3	54.0°C	52.5°C	-19.7 "Hg	2.7 psia
ALIMENTACIÓN DE VAPOR	123.0°C		19.6 psia	31.8 psia

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 12.4 psia

A las 10:45 se detuvo la operación ya que falló la bomba de vacío y se procedió a cambiarla; a las 11:45 se terminó la reparación y se procedió a recuperar el nivel del tanque de alimentación de salmuera, hasta un volumen de 123 litros, trabajándose así hasta las 12:35 hrs. de manera estable. A las 13:00 hrs. comenzó a fallar la bomba de condensados y se suspendió la operación. Para este periodo se reportan los datos siguientes:

EFEECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA DE SALMUERA	PRESIÓN MANOM.	PRESIÓN ABSOLUTA
1	106.0°C	88.0°C	15.9 "Hg	20.2 psia
2	81.5°C	90.0°C	-5.0 "Hg	10.4 psia
3	67.5°C	75.0°C	-13.7 "Hg	5.6 psia
ALIMENTACIÓN DE VAPOR	124.0°C		18.7 psi	31.8 psia

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 12.4 psia

Se continuó la operación a las 15:30 hrs. y se trabajó hasta las 17:20 hrs., observándose las siguientes condiciones de operación:

EFEECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESIÓN MANOM.	PRESIÓN ABSOLUTA
1	109.0°C	65.4°C	16.8 "Hg	20.6 psia
2	73.0°C	81.4°C	-12.2 "Hg	6.3 psia
3	60.0°C	67.3°C	-18.6 "Hg	3.2 psia
ALIMENTACIÓN DE VAPOR	130.0°C		27.7 psi	40.0 psia

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 12.4 psia

Puede observarse que la temperatura en el efecto No. 3, no fue lo suficientemente alta, por lo cual no se alcanzó la evaporación de la salmuera. No se alcanzó la densidad final deseada de la salmuera (1.25 g/ml) ya que el tiempo de permanencia de la salmuera en el equipo fue muy corto, decidiéndose darle un mayor tiempo de permanencia en el sistema, en una posterior "corrida" experimental.

Durante el día se consumieron 62.8 litros de salmuera, y no se logró la completa estabilización del equipo. A las 17:20 hrs. se procedió a desalojar y lavar el equipo.

3.4.2 Segunda "Corrida" Experimental (Día 2)

Se trabajó con un volumen inicial de 123 L de salmuera diluida (densidad = 1.12 g/mL), el cual podía ser repuesto en cualquier momento; se trabajó durante 210 minutos, tratando de estabilizar el sistema hasta que el sello de aceite de la bomba de succión se contaminó con agua y al no haber succión en el segundo efecto la salmuera se saturó.

Se estuvo trabajando con un flujo de 0.5 Lpm de salmuera concentrada en el tercer efecto, registrándose una densidad de 1.30 g/mL que ocasionaba problemas en las tuberías por atascamiento de sólidos, por lo que se aumentó el flujo hasta 0.83 Lpm; ya con esto se logró disminuir la densidad hasta 1.24 g/mL y el problema de atascamientos quedó resuelto. Por último, se trabajó con un flujo de 0.4 Lpm, registrándose una densidad de la salmuera estabilizada en 1.27 g/mL sin presentar un exceso de sólidos.

Resumen de operaciones:

- Tiempo de operación: 210 minutos.
- Volumen de salmuera concentrada: 104.4 litros
- Volumen de agua evaporada desde la salmuera: 97.6 litros
- Flujo promedio de concentrado: 0.5 Lpm

Condiciones de operación:

EFEECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESION MANOMÉTRICA	PRESION ABSOLUTA
1	101.3 °C	73.9°C	8.8 "Hg	16.6 psia
2	74.0 °C	81.5°C	-11.4 "Hg	6.7 psia
3	50.0 °C	62.0°C	-20.9 "Hg	2.1 psia
ALIMENTACION DE VAPOR	125.0 °C		20.7 psi	33.0 psia

PRESION ATMOSFERICA: 12.4 psia

El flujo de concentrado debió fijarse este día en 0.4 Lpm, pues un intento de disminución a 0.35 Lpm generó la indeseada cristalización prematura.

Se reanudó la operación a las 15:40 hrs. con un volumen de salmuera disponible de 61.5 litros; se trabajó por espacio de 60 minutos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Resumen de operaciones:

- Tiempo de operación: 60 minutos.
- Volumen de Salmuera diluida tratada: 40 litros
- Volumen de salmuera concentrada: 25 litros
- Volumen de salmuera evaporada: 15.16 litros
- Flujo promedio de concentrado: 0.5 Lpm

Condiciones de operación:

EFEECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESION MANOMÉTRICA	PRESION ABSOLUTA
1	98.6°C	71.3°C	2.8 "Hg	13.7 psia
2	73.0°C	82.5°C	-12.0 "Hg	6.4 psia
3	53.7°C	64.2°C	-19.8 "Hg	2.6 psia
ALIMENTACION DE VAPOR	126.0°C		22.8 psi	35.0 psia

PRESION ATMOSFERICA: 12.4 psia

Al final de la corrida del día se alcanzó una concentración final de 1.26 g/mL, sin cristalización, como resultado de que el tiempo de permanencia de la salmuera en el equipo se incrementó. Sin embargo, hubo grandes variaciones en las presiones registradas en los tres efectos que componen al sistema de evaporación.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3.4.3 Tercera "Corrida" Experimental (Día 3°)

Se inició la operación del equipo con 123 litros de salmuera diluida disponible y se trabajó por espacio de 312 minutos, registrándose una densidad final de 1.25 g/mL y por momentos, de hasta 1.3 g/mL.

La siguiente tabla muestra el resumen de las condiciones de operación del tercer día.

EFFECTO	TEMPERATURA DE VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESION MANOMÉTRICA	PRESION ABSOLUTA
1	102.2°C	62.0°C	8.0 "Hg	16.3 psia
2	64.2°C	72.0°C	-16.5 "Hg	4.2 psia
3	42.0°C	50.0°C	23.6 "Hg	0.78 psia
ALIMENTACION DE VAPOR	127.0°C		22.7 psi	35.0 psia

PRESION ATMOSFERICA: 12.4 psia

Resumen de operaciones:

- Tiempo de operación: 312 minutos.
- Salmuera diluida total tratada: 208 litros (513.5 lb)
- Salmuera concentrada total: 108 litros (298 lb)
- Salmuera evaporada total: 94.0 litros (207.2 lb)
- Flujo promedio de concentrado: 0.5 Lpm

-
- Condensado total del Efecto No. 1: 77.2 lb
 - Condensado total del efecto No. 2: 88.2 lb
 - Condensado total del efecto No. 3: 55.1 lb
 - Condensado total de vapor de caldera: 291 lb

NOTA: La temperatura registrada en la salmuera a la entrada del efecto No. 3, es superior a la temperatura de evaporación calculada para la salmuera en las condiciones de presión de vacío registrado en dicho efecto.

3.4.4 Cuarta "Corrida" Experimental (Día 4°)

Se trabajó con salmuera concentrada, con una densidad de 1.25 g/mL, cargando el cristalizador con 30 litros, equivalente a 82.67 lb (37.5kg).

Se inició la operación a las 10:00 hrs. y se trabajó a una temperatura de ebullición promedio de 96°C y a una presión de vacío de -7.8 "Hg hasta las 12:45 hrs. en que terminó la operación, registrándose una velocidad de evaporación de 4.181 litros por hora.

Resumen de operaciones:

- Tiempo de operación: 165 min.
-
- Salmuera total concentrada tratada: 30 L ó 37.5 kg (82.67 lb)
 - Salmuera total evaporada: 11.5 L ó 11.5 kg (25.35 lb)
 - Salmuera total saturada: 13.2 L o 16.5 kg (36.37 lb)
 - Sales filtradas húmedas: 6.154 kg (13.56 lb)
 - Sales filtradas secas: 5.325 kg (11.739 lb)
 - Cristales precipitados en frío a partir de salmuera saturada: 0.2616 kg (0.5767 lb)
 - Pérdidas de vapor: 3.0 L ó 6.8 lb.

Después se trabajó con el cristalizador a presión atmosférica con el fin de obtener salmuera saturada de una manera más rápida, registrándose una temperatura de ebullición de 110°C, logrando procesar un total de 180 L de salmuera y obtener a partir de ésta, alrededor de 30kg de sales.

3.5 Conclusiones de la Experimentación

Al operar en estado estable se observó la importancia de que las velocidades de flujo en la alimentación y evaporación fuesen controladas rigurosamente, a fin de que

tanto el solvente como el soluto no se acumularan ni disminuyeran en cada efecto.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las variables: concentración, temperatura y velocidad de flujo, de la alimentación, son constantes y están determinadas según las características de la salmuera. Las presiones en la entrada de vapor vivo y el condensador son establecidas previamente y todos los niveles de las disoluciones se mantienen constantes en cada efecto. Por tanto, todas las concentraciones internas, las velocidades

de flujo, las presiones y las temperaturas se mantienen automáticamente constantes por sí mismas, durante la operación estable del proceso.

La fracción molar de sales en la salmuera concentrada solamente se puede modificar cambiando la velocidad de alimentación de la salmuera.

La concentración en el último efecto, y como consecuencia de la salmuera concentrada que se descarga del mismo, alcanzará eventualmente un nuevo estado estacionario para un nivel dado.

Es de suma importancia cuidar la relación de vacíos entre los diferentes efectos, para evitar que el producto deje de fluir. Las principales fallas o contratiempos observados fueron los taponamientos en tuberías por incrustaciones de sólidos, así como la falla de los sensores (solenoides) por ensuciamiento causado por las sales precipitadas, así como también las fallas en las diferentes bombas que manejan condensados pues se observó que había el riesgo de cavitación.

Fue evidente la necesidad de bombas de relevo o de sistemas para operar en "by pass", así como de mirillas en las diferentes líneas de alimentación de condensado.

3.6 Condiciones de Operación en la Evaporación de Triple Efecto

Por cada libra de vapor vivo alimentado se evaporaban alrededor de 0.85 lb de Salmuera, con lo que la concentración de las sales pasaba desde el 12% hasta el 25%.

Los siguientes datos muestran las condiciones en que fue operado el evaporador:

EFEECTO	TEMPERATURA DEL VAPOR	TEMPERATURA SALMUERA	PRESION MANOMÉTRICA	PRESION ABSOLUTA
1	102.2°C	62.0°C	8.0 "Hg	16.3 psia
2	64.2°C	72.0°C	-16.5 "Hg	4.2 psia
3	42.0°C	50.0°C	-23.6 "Hg	0.78 psia
ALIMENTACION DE VAPOR	127.0°C		22.7 psi	35.0 psia

PRESION ATMOSFÉRICA: 12.4 psia

Las características del evaporador se resumen en la tabla 3.2, donde se muestra la eficiencia del mismo.

CAPACIDAD DEL EVAPORADOR	18.15 kg/hr	40.0 lb/hr
CONSUMO DE VAPOR VIVO	21.98 kg/hr	46.9 lb/hr
ECONOMÍA DEL EVAPORADOR	85.0%	

TABLA 3.2 Resumen de las Características del Evaporador

3.7 Condiciones de Operación durante la Obtención de Cristales

Para la obtención de cristales se utilizó el cristalizador, al que se le alimentaron 30 litros de salmuera concentrada, con una densidad de 1.25 g/mL, y se trabajó a una presión de vacío de -7.88 "Hg, con la cual la temperatura de ebullición de la salmuera es de 96°C .

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La eficiencia del cristalizador se obtuvo a partir del porcentaje de sal recuperada desde la salmuera alimentada, dado que la sal contenida en la salmuera alimentada era de 9.37 kg y la sal recuperada en forma de salmuera fue de 5.58 kg, la recuperación fue de un 60%. En cuanto al volumen de salmuera evaporada (en % vol) fue del 40%.

3.8 Observaciones acerca de los Productos Obtenidos

3.8.1 Cristales

Después de analizar químicamente las sales obtenidas, se observó como principal componente, el NaCl en un 72.0%, seguido por el Na₂SO₄ con un 24.5% y por último el KCl con un 3.5%, confirmando lo observado al microscopio, donde eran predominantes las formas cúbicas e incoloras que corresponden al NaCl, pero había en una menor proporción formas monoclinicas e incoloras típicas del Na₂SO₄.

Los resultados resumidos del análisis químico realizado al producto obtenido se reportan en la tabla 3.3.

ELEMENTO	% Masa	P.M.
Na	39.73	23.0
K	2.11	39.1
SO ₄	18.14	96.0
Cl	40.02	35.5

Tabla 3.3 Resumen de las Propiedades Químicas del Producto Obtenido

3.8.2 Salmueras

Los análisis químicos practicados a las salmueras obtenidas mostraron una tendencia ligeramente básica, registrando valores promedio de 8.0 a 8.5, lo que favorece la operación; ya que una salmuera ligeramente básica es menos corrosiva.

En la salmuera obtenida de los efectos de evaporación, la densidad se incrementó desde 1.12 g/mL hasta 1.25 g/mL y aquí es donde se observó que la saturación daba inicio, alcanzándose densidades intermedias en los efectos con valores de 1.15 g/mL y de 1.20 g/mL, pudiendo variar un poco estos valores pero siempre manteniendo el valor final de 1.25 g/mL.

Debido a que en las salmueras residuales de la prueba de la cristalización fue observada una tonalidad verde, se analizó el contenido de cobre presente, por ser este elemento el típico causante de esta coloración.

El análisis químico confirmó que efectivamente sí había cobre presente, en valores de hasta 10 mg por litro, pero un análisis de la salmuera original confirmó que ésta

no presentaba cobre, por lo que éste era producto de una contaminación proveniente del equipo cristizador, o de sus tuberías durante la experimentación.

3.8.3 Condensados

Los condensados mostraron valores de densidad como era de esperarse, de 1.0 g/mL y valores de conductividad típicos de agua destilada, por lo que se descarta cualquier tipo de arrastre de sales durante la evaporación.

Estos vapores pueden considerarse típicos para un proceso de destilación, efectuado con un pH ligeramente básico.

3.8.4 Productos de la Filtración

Después de analizar las diferentes sales presentes en las salmueras, a través de los diferentes efectos, se observó que el contenido de NaCl y de KCl, expresado en partes por millón (mg por litro), se incrementó al llevar a cabo la filtración antes de la cristalización, mientras que

el contenido de Na_2SO_4 disminuyó, después de la filtración, y de la cristalización.

Lo anterior indica que una mayor parte del Na_2SO_4 es removido durante la filtración, por lo que el contenido de esta sal en la salmuera remanente, expresado en partes por millón, disminuye; mientras que nada de NaCl y KCl fueron retenidos en la etapa de la filtración realizada con papel filtro de velocidad media.

3.9 Economía del Evaporador

La capacidad del evaporador utilizado, en libras de salmuera evaporada por hora de operación, es de dada por el dato siguiente: 207.2 lb/312 minutos, ó 40 lb evaporadas por hora.

3.9.1 Consumo de Vapor Vivo

a) Cálculo del calor necesario para evaporar salmuera en el efecto No. 1:

$$q = m_f CP (T. SALIDA - T. ENTRADA) + (m_f - m) \lambda_{vap}$$

donde;

m_f = masa de salmuera alimentada : 98.76 lb/hr

CP = Capacidad calorífica de la salmuera : 0.80 Btu/lb°F

T. SALIDA = Temperatura de evaporación de la salmuera: 215°F

T. ENTRADA = Temperatura de salmuera al entrar al efecto: 143°F

m = masa de salmuera concentrada : 58.911 lb/hr

λ_{vap} = Entalpía de evaporación de la salmuera : 946 Btu/lb

$$q = 98.76 \text{ lb/hr} * 1 \text{btu}/(\text{lb}^\circ\text{F}) * (215^\circ\text{F} - 143^\circ\text{F}) +$$

$$(98.76 \text{ lb/hr} - 58.91 \text{ lb/hr}) * 972 \text{ Btu/lb}$$

$$q = 44,432.49 \text{ Btu/hr}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

b) Cálculo del consumo de vapor:

$$\text{Consumo de vapor} = q / \lambda_{vap}$$

$$(44\ 432.49 \text{ Btu/hr}) / 946 \text{ Btu/lb} = 46.96 \text{ lb/hr}$$

Consumo total de vapor en 312 minutos: 244.23 lb

3.9.2 Economía

La economía es equivalente con la eficiencia del equipo intercambiador de calor, en este caso el evaporador de triple efecto. La definición de la economía es:

$$\frac{(\text{lb de salmuera evaporada})}{(\text{lb de vapor vivo alimentado})} \times 100$$

$$(207.2 \text{ lb} / 244.23 \text{ lb}) * 100 = 85.0\%$$

3.10 Criterios para Definir el Proceso

Se tomó la decisión de operar el sistema de evaporación a flujo en contracorriente, con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso del vapor de la caldera.

Los calefactores fueron adquiridos con tubos de 2 pulgadas y se evaluó la posibilidad de instalarlos como calefactores de uno, dos o tres pasos, resultando la mejor opción la de dos pasos, ya que se tiene un flujo de recirculación moderado, junto con una diferencia de

temperatura adecuada, con la ventaja adicional de que se reduce el rompimiento de cristales, en comparación con el cambiador de tres pasos. Ello obligó a acomodar los tres calefactores de forma horizontal sólo para el efecto No.3.

La velocidad seleccionada de recirculación en los calefactores es mínima (5 ft/seg); con ésto se asegura evitar la sedimentación de sólidos en los tubos y se obtiene además, un alto coeficiente de transferencia de calor.

Se pretende alcanzar una distribución de temperaturas y presiones óptimas en el evaporador de triple efecto, mediante el uso de vapor saturado en el primer efecto y un condensador barométrico con sistema de bomba de vacío.

Debido a que la salmuera contiene una mezcla de sales y no se tiene ninguna referencia en cuanto al tamaño del cristal a obtener, se incluyó un asentador para dar oportunidad de sedimentar los cristales y amortiguar las variaciones entre la producción y la separación de las sales. En base al mismo razonamiento anterior, el tercer efecto se diseñó como evaporador-cristalizador.

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 la 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 al punto "P" en donde ambos compuestos cristalinos se hallarán sin agua y en la misma proporción molar en que se encontraban en la salmuera inicial. Es en este último tramo de cristalización en el que se produce también la separación de $KNa(SO_4)_2$.

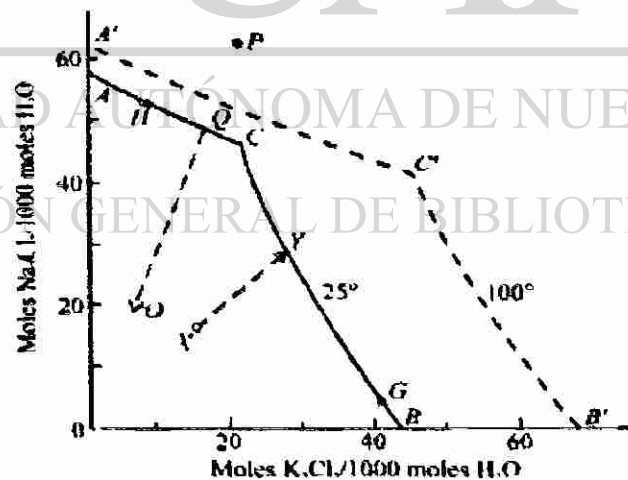


FIGURA 3.2 Diagrama de Fases que Muestra la Cristalización desde una Disolución que Contiene NaCl y KCl, a 25 y 100 °C

3.12 Cálculo 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 forrandolos 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/lb
Vapor	8,742	lb/hr
U_1	300	BTU/hr-ft ² -°F

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

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

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

2 ^o Calefactor		
ΔT	20.9	°F
λ	982	BTU/lb
Vapor	6,640	lb/hr
U_1	250	BTU/hr-ft ² -°F

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

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

$$A = 6,640 (982) / (250) (20.9) = 1,248 \text{ ft}^2$$

3° Calefactor		
ΔT_s	14.6	°F
λ	1,003	BTU/lb
Vapor	6,115	lb/hr
U_1	250	BTU/hr-ft ² -°F

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

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

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

$$\text{Área promedio} = (1,290 + 1,248 + 1,680)/3 = 1,406 \text{ ft}^2$$

$$\text{Área de cambiadores adquiridos} = 1,460 \text{ ft}^2$$

$$\text{Factor de sobrediseño} = 1,460/1,406 = 1.04 = 4\%$$

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

Efecto	T	Vapor		Líquido	
		Vol. Esp.	Densidad	Vol. Esp.	Densidad
	°F	ft ³ /lb	lb/ft ³	ft ³ /lb	lb/ft ³
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 centrifuga 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 Centrifuga

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 10 ⁶ 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 H ₂ O 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 nivel 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 cual 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.

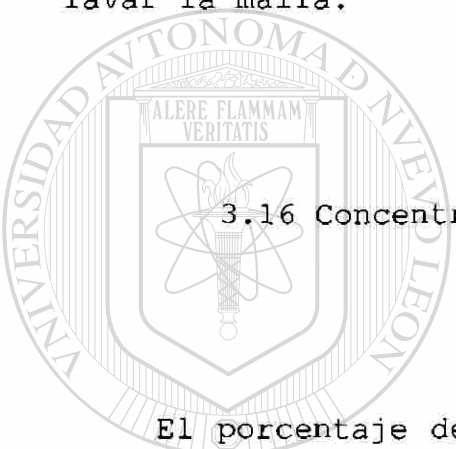
3.15.3 Separación de Cristales de Sal

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.

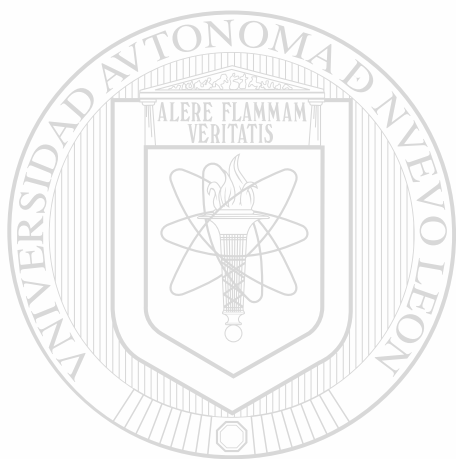


3.16 Concentración de Sólidos Primer Efecto

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.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

Las 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 ($FY = 2530 \text{ kg/cm}^2$), 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 ($FY = 3000 \text{ kg/cm}$); varilla GR suave (2 y 3) ASTM-A-615 ($FY = 2500 \text{ kg/cm}^2$); malla electro-soldada ASTM-A-185 ($FY = 5000 \text{ kg/cm}^2$). 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 generar 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 agua 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

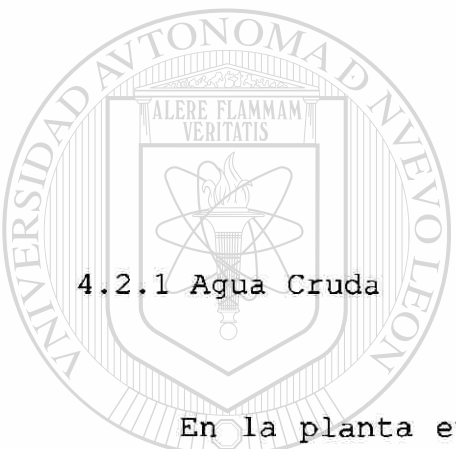
Los reactivos para el laboratorio y los aditivos para la caldera se guardarán en los recipientes originales provistos por los fabricantes. Éstos a su vez estarán colocados en gavetas especiales ubicadas en el cuarto de control-laboratorio.

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 enviada 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 $\frac{1}{2}$ " 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 by-pass 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

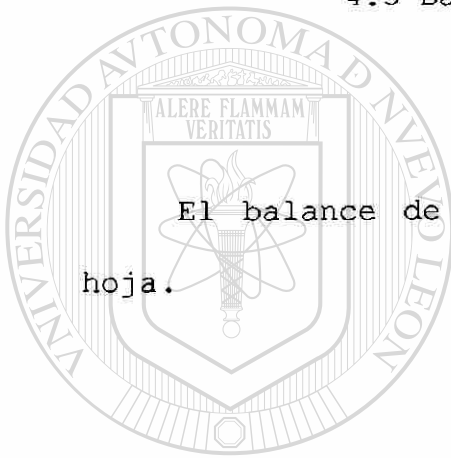
El paro de emergencia puede ocurrir en casos como:

- 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



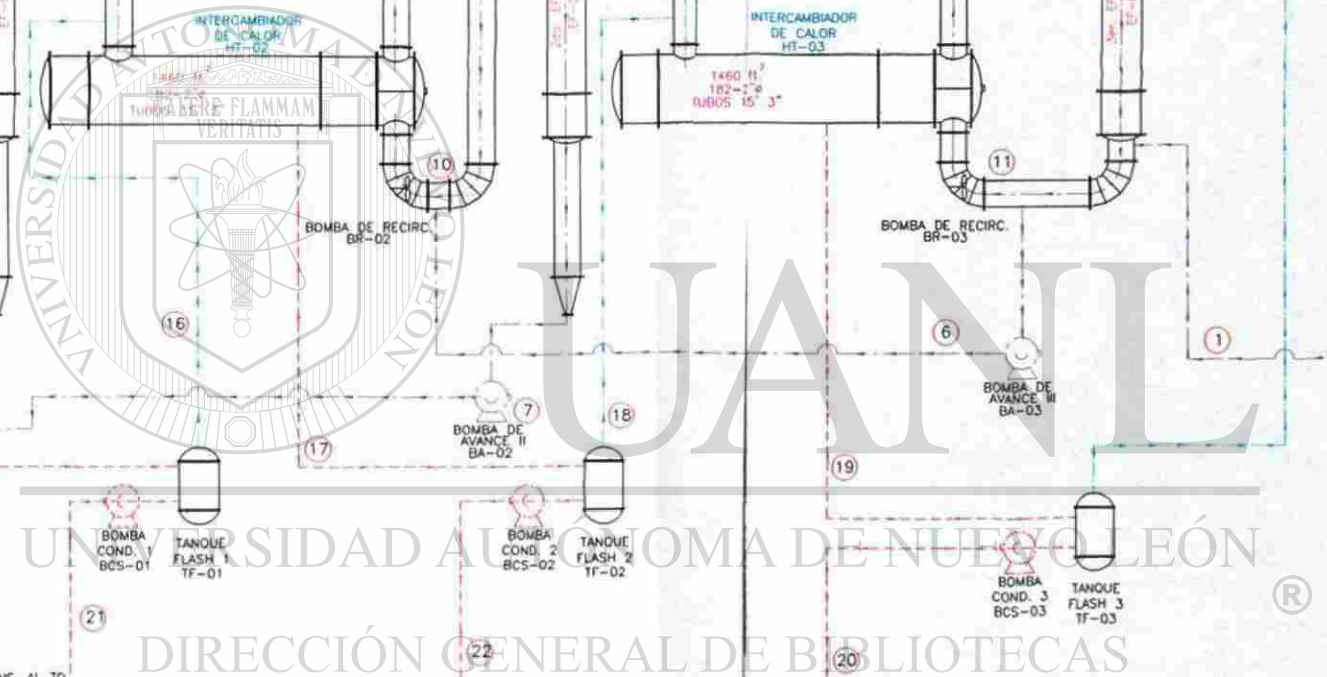
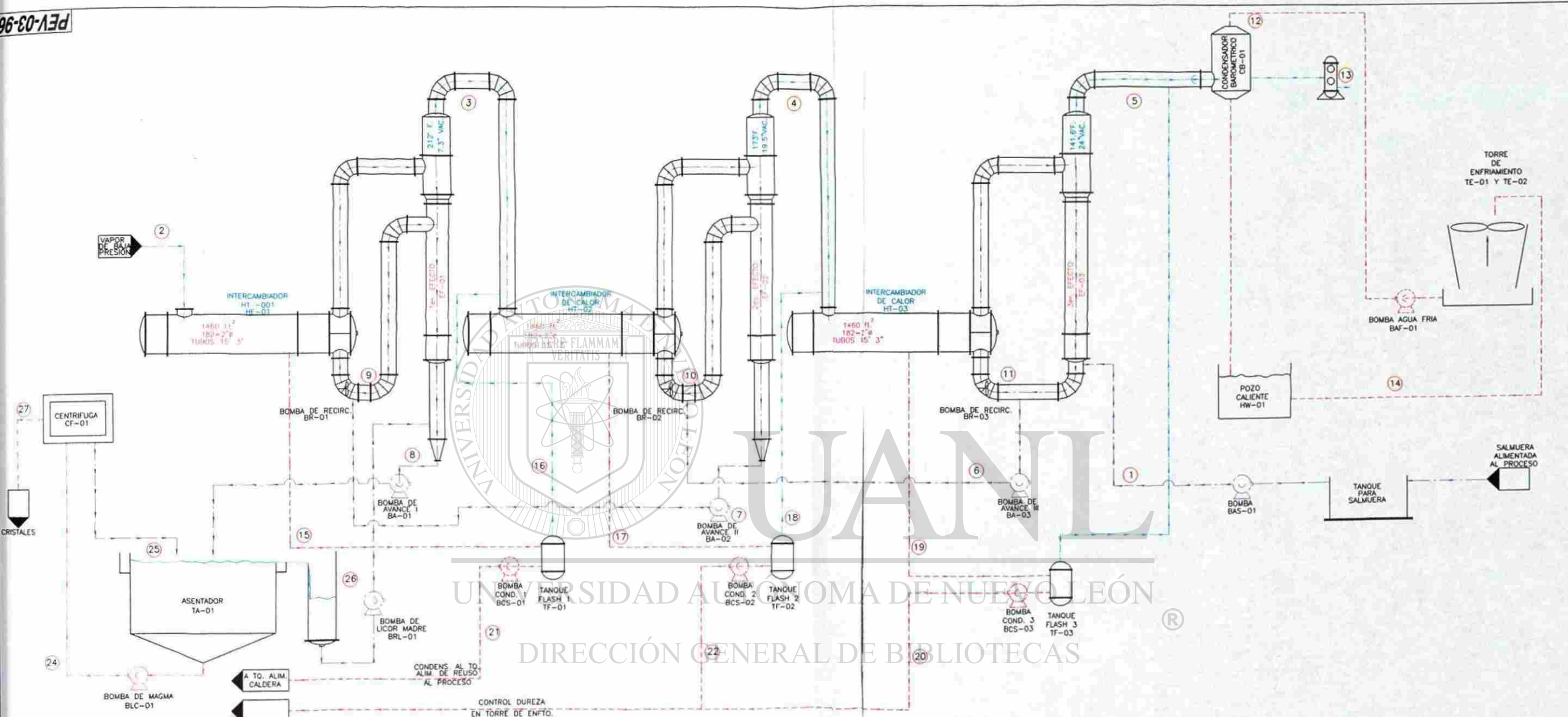
El balance de materiales se muestra en la siguiente hoja.

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





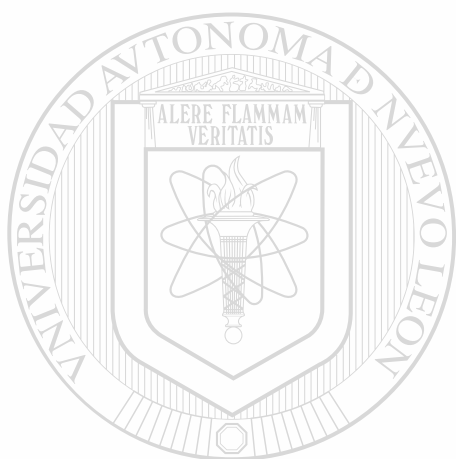
SIMBOLOGIA

- VAPOR
- AGUA CON SALES DISUELTAS
- SALMUERA CON CRISTALES
- CRISTALES Na Cl y K Cl
- CONDENSADOS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27						
NaCl	0.972					0.972	0.779	0.193	1.211	0.972	161.3	245.2	271	67	174.9									0.2136	0.972	0.2136	1.211	0.972	NaCl	TPH			
K Cl	0.169					0.169	0.169		1.396	0.169	186.4	42.6	59	30.4										0.2464	0.169	0.2464	1.396	0.169	K Cl	TPH			
Na2SO4	0.185					0.185	0.185		0.159	0.185	21.2	46.6	64	33.3										0.0280	0.185	0.0280	0.159	0.185	Na2SO4	TPH			
H2O	8.232					8.232	8.232	4.248	0.159	8.232	842	938.4												0.828	8.232	0.828	7.97	4.207	H2O	TPH			
TOTAL	9.559					9.559	9.559	4.496	2.715	9.559	1003.6	1241	67	1177										1.326	1.326	1.285	7.423	1.367	TOTAL	TPH			
FLUJO G. P. M.	38.26					24.26	12.26	29.2	44.30	44.30	1066	1078	18.4											8.2	4.3	24.7			FLUJO G. P. M.				
DENSIDAD kg/lit.	1.1					1.17	1.30	1.33	1.31	1.30	1.17	1.0												1.43	1.33	1.33			DENSIDAD kg/lit.				
% SOLIDOS	0					0	5.12	10	25	5.1	0	0												50	0	0	97		% SOLIDOS				
TEMP °C	25					109	78.4	80	100	78.4	60.9	30												69	69	69	69	65	TEMP °C				
SALES DISUELTAS %	13.88					20.27	31.76	36.60	36.60	31.76	20.27													70	40	60	40		SALES DISUELTAS %				
VAPOR T P H		3.180	3.028	2.783	2.398																								VAPOR T P H				
PRESION 74g. Mon.		0.3 PSI	-7.3	-19.2	-24																								PRESION 74g. Mon.				
PRESION 74g. Abs.		22.9 PSIA	20.6	8.4	3.9																								PRESION 74g. Abs.				
VOL. ESP. ft ³ /hr.		18.37	39	89	189.8																								VOL. ESP. ft ³ /hr.				
TEMP °C		112°	100°	78.4°	60.9°																								TEMP °C				
TEMP. DE SAT. °C		112°	90°	69°	52°																								TEMP. DE SAT. °C				
TOTAL lb/hr.	21033.99	6966.6	8673.6	8333.25	5286.77	4298.4	7639.07	425.49	16565.52	2923.33	221259.26	732226.8	2732936	147709	22594841	533772	551.16	51790.26	6966.6	341.7	7912.3	297.6	8531.5	8631.3	8624.8	6718.7	13051.2	2923.2	2923.33	2838.94	16475.1	303.72	TOTAL lb/hr.
TEMP °F	77 °F	233.6	212	173.12	141.62	212	173.12	176.0	212	173.12	141.62	86	406.4	98.6	233.6	194	194	156.2	156.2	194	156.2	156.2	194	156.2	149	158	104	140	104	TEMP °F			
ENTALPIA Btu/hr.		8068280	7892053	7198732	4628218																								ENTALPIA Btu/hr.				

4.6 Diagrama de tuberías e instrumentos

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

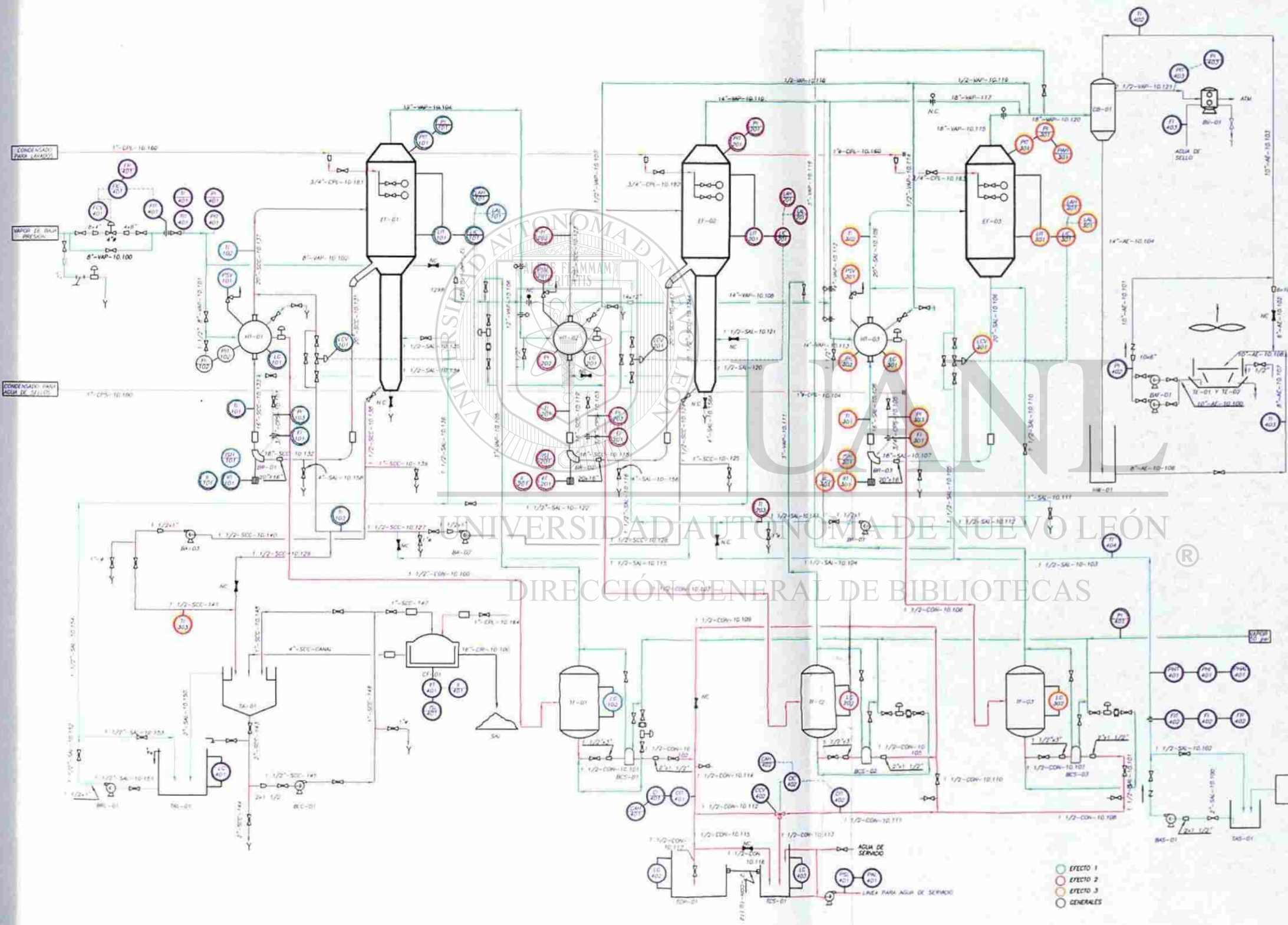


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



NOMENCLATURA PARA EQUIPO

DESCRIPCION	CANT.
BA BOMBA DE AVANCE	3
BAS BOMBA DE ALIMENTACION DE SALMUERA	1
BCS BOMBA DE CONDENSADOS	3
BLC BOMBA DE AVANCE CENTRIFUGA	1
BR BOMBA DE RECIRCULACION	3
BRL BOMBA DE RECIRCULADOS	1
BV BOMBA DE VACIO	1
CB CONDENSADOR BARMETRICO	1
CF CENTRIFUGA	1
EF EFECTO	3
HT INTERCAMBIADOR DE CALOR	3
HW POZO CALIENTE	1
TA TANQUE ASENTADOR	1
TAS TANQUE ALMACEN DE SALMUERA	1
TCP TANQUE DE CONDENSADOS PARA CALDERA	1
TCS TANQUE DE CONDENSADOS	1
TE TORRE DE ENFRIAMIENTO	2
TF TANQUE FLASH	3
TRL TANQUE DE RECIRCULADOS	1

NOMENCLATURA PARA INSTRUM.

DESCRIPCION	CANT.
CAH ALARMA DE ALTA CONDUCTIVIDAD	2
CCV VALVULA DE CONTROL DE CONDUCTIVIDAD	1
CI INDICADOR DE CONDUCTIVIDAD	1
CIC INDICADOR CONTROLADOR DE CONDUCTIVIDAD	1
CIT INDICADOR TRANSMISOR DE CONDUCTIVIDAD	2
FCV VALVULA DE CONTROL DE FLUJO	1
FI INDICADOR DE FLUJO	4
FIC INDICADOR Y CONTROLADOR DE FLUJO	1
FTI INDICADOR Y TRANSMISOR DE FLUJO	2
FR TOTALIZADOR DE FLUJO	2
I INDICADOR DE CORRIENTE	4
IT INDICADOR TRANSMISOR DE CORRIENTE	4
ISL SWITCH DE BAJA CORRIENTE	4
LAH ALARMA DE ALTO NIVEL	3
LAL ALARMA DE BAJO NIVEL	3
LCV VALVULA DE CONTROL DE NIVEL	3
LG INDICADOR DE NIVEL	9
LIC INDICADOR Y CONTROLADOR DE NIVEL	3
LIT INDICADOR TRANSMISOR DE NIVEL	3
PAH ALARMA DE ALTA PRESION	1
PCV VALVULA CONTROL DE PRESION	1
PHAL ALARMA DE BAJO PH	1
PHI INDICADOR DE PH	1
PHT TRANSMISOR DE PH	1
PI INDICADOR DE PRESION	11
PIC INDICADOR Y CONTROL DE PRESION	1
PII INDICADOR Y TRANSMISOR DE PRESION	7
PSV VALVULA DE SEGURIDAD DE PRESION (ALVIO)	3
TI INDICADOR DE TEMPERATURA	13
TIT INDICADOR Y TRANSMISOR DE TEMPERATURA	1

MATERIALES

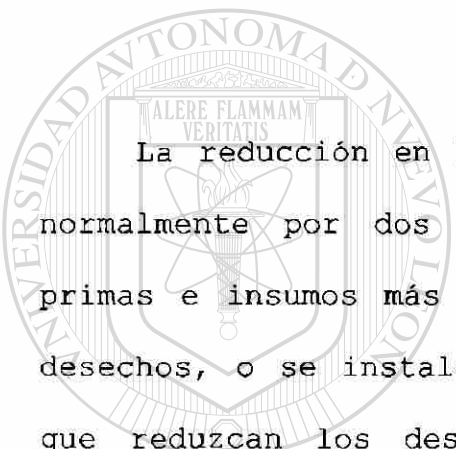
DESCRIPCION	LINEA
AE AGUA PARA ENFRIAMIENTO	---
CON CONDENSADOS	---
CPL CONDENSADO PARA LAVADOS	---
CPS CONDENSADOS PARA SELLOS	---
CRI CRISTALES	---
SAL SALMUERA	---
SCC SALMUERA CON CRISTALES	---
VAP VAPOR	---

SIMBOLOGIA

	TRAMPA DE VAPOR
	MIRILLA
	VALVULA BOLA
	VALVULA DE COMPUERTA
	VALVULA DE RETENCION
	VALVULA DE 3 VIAS
	VALVULA DE CONTROL
	VALVULA NORMTE. CERRADA
	COMAL. NORMAL ABIERTO
	COMAL. NORMAL CERRADO

- EFECTO 1
- EFECTO 2
- EFECTO 3
- GENERALES

- 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 ambiente 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.

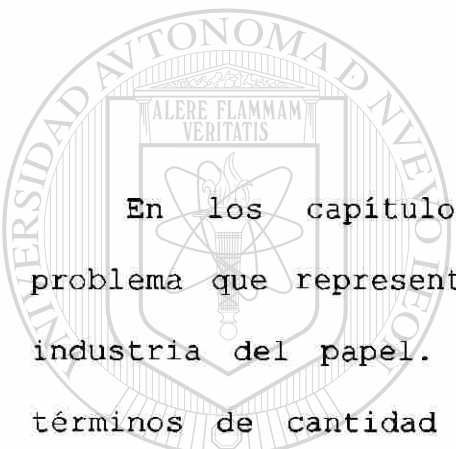
El trabajo descrito en esta tesis es una clara aplicación de la amplitud de opciones de tratamiento que realmente existen para las aguas de desecho que generan las industrias. El tratamiento es en esencia uno de Ingeniería Ambiental con un fuerte respaldo de la Ingeniería Química de Procesos, pero con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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

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 sustancias, 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO 7

GLOSARIO



Abastecimiento de agua potable

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

Agricultura intensiva

Aquella 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/Agua 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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

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 de 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 agua 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**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 el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	mínimo 2		
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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**Reúso DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

REFERENCIAS

- 1 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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

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* © 1993-1997 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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



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.

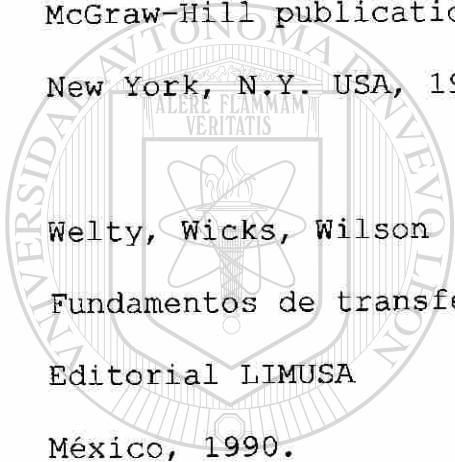
New York, N.Y. USA, 1979.

Welty, Wicks, Wilson

Fundamentos de transferencia de Momento, Calor y Masa

Editorial LIMUSA

México, 1990.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

NOMENCLATURA

CNA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
GPS	Galones por segundo
gr	Gramos
Kg	Kilogramos
l	Litros

LAN Ley de Aguas Nacionales

LFNM Ley federal sobre metrología y normalización

NOM Norma oficial mexicana

pH Potencial de hidrógeno

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales

