

134
2ay-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



DIAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

"ESTUDIO DE LA MINIMIZACION, DEL USO Y
REUTILIZACION DEL AGUA EN UNA PLANTA
DE EMULSIONES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A ;
ALDO MARTIN SAENZ RODRIGUEZ

L



MEXICO, D. F.

47147

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).


El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE	PROF. DURÁN DOMÍNGUEZ MA. DEL CARMEN
VOCAL	PROF. TORRES BARRERA RODOLFO
SECRETARIO	PROF. CRUZ GÓMEZ MODESTO JAVIER
1ER. SUPLENTE	PROF. LUNA PABELLO VÍCTOR MANUEL
2DO. SUPLENTE	PROF. LÓPEZ MARTÍNEZ JOSÉ LUIS

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**ROHM AND HAAS MÉXICO, PLANTA APIZACO
AQUILES SERDÁN 1227 C.P. 90359 APIZACO, TLAXCALA
APARTADO POSTAL 31.**



DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ
ASESOR



ING. BELKIS PINA NISWONGER
SUPERVISOR TÉCNICO



ALDO MARTÍN SÁENZ RODRÍGUEZ
SUSTENTANTE

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme vida y sabiduría para alcanzar esta meta.

A mis padres, Georgina y Martín por su amor, apoyo y comprensión.

Al Dr. Javier Cruz G. por la confianza depositada en mi para la realización de la presente.

A la empresa **Rohm & Haas** por el apoyo brindado para el desarrollo de esta tesis, en especial a:

Belkis Pina Niswonger

Efraín Huerta

Hugo Arroyo

Jesús Pérez Pulido

Julio Cesar Díaz

Julio Rodríguez

Rafael Serrano

Roman Mendieta

A mis amigos de la Facultad de Química y a los muchachos del laboratorio E-212.

*Todo tiene su tiempo, y todo lo que se
quiere debajo del cielo tiene su hora.*

Ec. 3:1

*Acuérdate de tu Creador en los días
de tu juventud, antes que vengán los
días malos, y lleguen los años de los
cuales digas: No tengo en ellos
contentamiento.*

Ec. 12:1

*Teme a Dios, y guarda sus
mandamientos; porque esto es el todo
del hombre.*

Ec 12:13

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

RESUMEN

CAPÍTULO PRIMERO	2
<i>1. INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>3</i>
1.1 Breve introducción de la planta.....	4
1.2 ¿Qué se fabrica en la planta?.....	5
1.3 Política ambiental de Rohm and Haas	6
1.4 Objetivo de la tesis	6
CAPÍTULO SEGUNDO	8
<i>2. EL AGUA EN GENERAL.....</i>	<i>9</i>
2.1 El agua.....	9
2.2 Ciclo hidrológico	10
2.3 Estadísticas	12
2.4 El agua usada en la industria	17
2.5 Cero descargas	18
2.5.1. Cero descargas: una aproximación sistemática para el reuso del agua... 18	
2.5.2. Situaciones para cero descargas..... 20	
2.5.3. Una aproximación sistemática..... 21	
Metas	22
Obtener información	23
Identificación de las oportunidades para la reutilización del agua	25
Implementación del plan maestro	27
Un proceso continuo.....	27

2.6 Uso del agua	28
2.6.1. <i>Uso industrial</i>	28
CAPÍTULO TERCERO	30
3. <i>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</i>	31
<i>Definiciones</i>	32
Agua blanca (White-Water)	32
Agua cruda	32
Agua desionizada (Agua D.I.)	32
Agua de refrigeración	32
3.1 Levantamiento y reconocimiento del área de la planta	33
3.1.1 <i>Objetivo</i>	33
Actividades	33
Limpieza de los reactores	34
Limpieza de zonas de la planta	34
3.1.2. <i>Limpieza de los reactores</i>	34
Cuestionarios	34
Limpiezas con "Heliojet"	35
Limpieza química "A"	37
Limpieza química "B"	38
Limpieza química "C"	39
Limpieza química "D"	39
3.1.3. <i>Limpiezas de zonas de planta</i>	40
Limpieza de las líneas de la zona de pipas	40
Volumen de las tinas	41
Limpieza de las tinas	41
Cálculo de volumen de líneas	42
Lavado de la línea de emulsiones del reactor B	43
Inventario de tambores	43
Agua desionizada sin medir	43

Volumen de chaquetas y serpentines	44
Control de aguas blancas	44
3.2 Balance de agua del sistema.....	44
3.2.1. Objetivo	45
3.2.2. Zona de generación de agua desionizada.....	45
3.2.3. Zona de refrigeración.....	48
3.2.4. Balance en planta de emulsiones acrílicas.....	49
Balance de agua en piletas	52
Balance de agua en planta	53
Balance de agua en los reactores	53
Balance de agua en zonas de la planta.....	54
Manguera de tinas	54
Drene de la chaqueta del reactor C	55
Lavado de frascos	55
Pipas de piletas	56
Zona de pipas	56
Compartimiento de pipas	56
Drene de la chaqueta del reactor E	56
Distribuidores	56
Envasado a tambores.....	57
Zona de granel.....	57
Manguera extra.....	57
CAPÍTULO CUARTO.....	59
4 RESULTADOS.....	60
4.1 Balance general de la planta	60
4.2 Tiempos de limpieza.....	62
4.3 Cantidad de agua descargada en chaquetas y serpentines.....	65
4.4 Comparación de reportes de cantidades en un mes.....	65
4.5 Balance global de la planta de emulsiones acrílicas.....	66

CAPÍTULO QUINTO.....	70
<i>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</i>	<i>71</i>
APÉNDICE A	75
<i>FIGURA A-1 DIAGRAMA DE BALANCE DEL SISTEMA DE AGUA.....</i>	<i>76</i>
<i>FIGURA A-2 MEDIDOR DE AGUA CRUDA DE LA CISTERNA.....</i>	<i>77</i>
<i>TABLA A-1 LECTURA DE LOS MEDIDORES DE AGUA.....</i>	<i>78</i>
<i>TABLA A-2 TIEMPOS DE LIMPIEZA PRIMERA MES.....</i>	<i>79</i>
<i>TABLA A-3 TIEMPOS DE LIMPIEZA SEGUNDO MES.....</i>	<i>80</i>
GLOSARIO DE TÉRMINOS	81
BIBLIOGRAFÍA	84

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 Distribución del agua total en la Tierra	10
TABLA 2.2 Balance de agua en el planeta.....	13
TABLA 2.3 Cambios del balance de agua para el año 2000.....	14
TABLA 2.4 Precipitación y escurrimiento por continente.....	15
TABLA 2.5 Volumen de escurrimiento per cápita.....	16
TABLA 2.6 Volumen de los océanos.....	16
TABLA 2.7 Balance de agua en los océanos.....	17
TABLA 2.8 Balance de agua por sectores en América del Norte, Central y el Caribe	28
TABLA 3.1 Mediciones de "Heliojet 2" en cada reactor	36
TABLA 3.2 Mediciones de "Heliojet 1" en reactor A	37
TABLA 3.3 Cantidad de agua desmineralizada para el reactor A	37
TABLA 3.4 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "A"	38
TABLA 3.5 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "B"	38
TABLA 3.6 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "C"	39
TABLA 3.7 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "D"	40
TABLA 3.8 Cantidad de agua real que utilizan por cada tipo de limpieza.....	40
TABLA 3.9 Volumen de las tinas.....	41
TABLA 3.10 Capacidad de las líneas con base en diagramas isométricos.....	43
TABLA 3.11 Volumen de chaquetas y serpentines.....	44
TABLA 3.12 Cantidad de agua utilizada para el lavado de las unidades aniónicas.....	46
TABLA 3.13 Comparación de las cantidades de agua en los reactores	54
TABLA 3.14 Cantidad de agua ocupada para la limpieza de las tinas	55
TABLA 3.15 Cantidad de agua medida dentro de la planta	57
TABLA 4.1 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor A	63
TABLA 4.2 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor B	63
TABLA 4.3 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor C	64
TABLA 4.4 Tiempo de reducción por limpiezas que puede ser empleado para producción.....	64
TABLA 4.5 Balance global de la planta de emulsiones acrílicas.....	67
TABLA 4.6 Minimización para alcanzar la meta	68
TABLA 4.7 Comparación de cantidades reales y teóricas para los reactores.....	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Cantidad de agua disponible en el planeta 11

FIGURA 2.2 Ciclo hidrológico..... 12

FIGURA 2.3 Plan sistemático para cero descargas 22

FIGURA 3.1 Balance del sistema de generación de agua desmineralizada 47

FIGURA 3.2 Balance del sistema de agua refrigerada..... 48

FIGURA 3.3 Formato para balance diario en la planta de emulsiones acrílicas..... 50

FIGURA 3.4 Formato para conocer el volumen diario de las piletas..... 52

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1 Balance por zonas de la planta..... 62

GRÁFICO 4.2 Comparación de reportes de cantidad de agua en un mes 66

GRÁFICO 4.3 Objetivo..... 69

Resumen

Este trabajo se desarrolló en una planta industrial. La problemática de la planta radica en que no se sabe dónde están las principales fuentes generadoras de descarga de agua; por consiguiente, se desconoce la cantidad real de agua descargada. El trabajo consiste en encontrar los principales lugares de descarga, medir la cantidad de agua de las piletas de tratamiento y crear un sistema para recuperación de agua; con ello se minimiza la cantidad de agua y puede ser reutilizada dentro de la planta. La parte experimental de la tesis se basa en un balance de materia en donde se ubican los puntos de generación de agua así como su cantidad. Para ello se llevan a cabo una serie de mediciones en campo para saber las cantidades que se generan en distintos puntos de la planta. Los resultados obtenidos se presentan en el balance de materia, donde se ve claramente en qué puntos se deben tomar acciones inmediatas para la minimización de la generación de aguas residuales. Una vez completado el balance, se dan las recomendaciones inmediatas necesarias para la minimización. Para ello, se analizan las diversas fuentes de generación y se dan opciones viables. Ya implementadas las recomendaciones, los resultados finales obtenidos son analizados y se obtiene una reducción de 64.4% de agua tratada en piletas en kilogramos de agua por cada kilogramo de producto manufacturado en la planta de emulsiones acrílicas. Como la planta está en un proceso de mejora continua, se puede apreciar al final de los resultados que todavía se puede eficientar la descarga de las aguas residuales.

CAPÍTULO PRIMERO

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge gracias a la relación y comunicación que se ha fomentado, mediante la iniciativa de la Fundación UNAM, de fomentar con alumnos de alto promedio, la realización de Escuelas Prácticas de Verano para promover la interacción entre la academia y las empresas.

En los veranos del '95 y '96 estuvieron, durante 2 meses, 2 grupos de 4 alumnos de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, dirigidos por el profesor Dr. M. Javier Cruz Gómez, realizando ciertos proyectos en la planta Apizaco de Rohm and Haas México, S. A. de C. V., en donde se tuvo oportunidad de interactuar con varios de los profesionistas de dicha empresa. A raíz de los conocimientos adquiridos en la Escuela Práctica de Verano del '96, el que suscribe propuso el presente desarrollo, al final de la presentación técnica en presencia de los funcionarios tanto de la UNAM, como de R&H. El tema fue aprobado en el mismo instante por el Gerente de la Planta y la Gerente de Producción, Ing. Belkis Pina Niswonger, se responsabilizó de la supervisión técnica de dicho proyecto.

Al participar en dichos proyectos, se conoce la industria y sobre todo se resuelven problemas reales, donde es notorio el cambio de la escuela, a los problemas reales; uno se empieza a relacionar con diferentes tipos de personas, desde los obreros hasta gerentes de planta, donde las relaciones humanas siempre son importantes.

El llevar el nombre de la Universidad Nacional Autónoma de México a la industria requiere de gran responsabilidad ya que es necesario desarrollar con capacidad e integridad los diferentes proyectos asignados, para dejar muy en alto a nuestra casa de estudios.

Rohm and Haas, está muy interesado no solamente en producir, sino también en la protección del ambiente y es como surge este tema. Rohm and Haas necesitaba disminuir la cantidad de desechos y hacer más eficiente el uso de recursos como el agua. Uno de los desechos son los sólidos que se encuentran en las aguas blancas. El tema desarrollado está basado en la minimización de las aguas blancas. El objetivo

ideal, es cero descargas y es posible lograrlo en el largo plazo. Este proyecto se ha concentrado en establecer y alcanzar metas de corto plazo que ayudarán a llevar esta planta a alcanzar su meta final, pasos cortos pero seguros.

1.1 Breve introducción de la planta

Rohm and Haas México, S.A. de C.V. inició actividades en México en 1942 y, en 1961, Rohm and Haas México establece la primera planta productiva en Apizaco, Tlaxcala. Actualmente tiene 51 empleados en oficinas México, 86 empleados no sindicalizados en planta y 97 empleados sindicalizados en planta.

La planta cuenta con 182,843.8 metros cuadrados.

En relación a la seguridad, a todas las personas se les suministra el mínimo de equipo para que sea usado dentro de la planta. Éste es: casco, lentes y zapatos; conforme sea el grado de riesgo del trabajo que realizará la persona, será el nivel de protección que usará y puede llegar a ser hasta un equipo totalmente encapsulante.

En relación al equipo de emergencias se tienen regaderas y lavaojos, mantas contra incendio las cuales pueden ser usadas para un lesionado, botiquines en cada área de la planta, una ambulancia de traslado con equipo que cumple con los estándares de las normas mexicanas de salud.

En relación al equipo contra fuego se tienen 260 extintores de diferentes capacidades, una cisterna de 1160 m³ de agua que alimenta a un cuarto de bombas y otra de 250 m³ que alimenta a otro cuarto de bombas.

En uno de los cuartos se encuentran una bomba Jockey de 10 HP, una de 150 HP eléctricas y una de 124 HP de combustión diesel, en otro cuarto se encuentran una Jockey y otra de 50 HP eléctricas, una red contra incendio de 0.25 m (10") de diámetro, 7 sistemas de rociadores automáticos, 42 equipos de bomberos, 2 equipos de penetración al fuego, un equipo de acercamiento al fuego nivel A y 8 equipos encapsulados para emergencias.

La planta también cuenta con un camión de emergencias con una bomba para agua contra incendio, extintores, equipo de respiración autónoma, mangueras, equipo para el manejo de materiales peligrosos, mangueras de transferencia, bomba de aire, un compresor, equipo de protección nivel A, equipo de rescate, cuerdas, mosquetones ascensores, descensores y botiquín.

En la planta todos los tanques de almacenamiento de materia prima tienen su dique de contención de derrames y tiene una zanja de contención que circula la parte Este, Sur y Oeste de la Planta con 2 cisternas de recolección conectadas a las zanjas, más las torres de descarga y plataformas de desechos, la plataforma de pipas también cuenta con zanjas cisternas de recolección de derrames (8).

1.2 ¿Qué se fabrica en la planta?

La planta ubicada en Apizaco, cuenta con 4 divisiones de manufactura: Emulsiones, "Paraloids", resinas de intercambio iónico, agentes biocidas y poliacrilatos.

En la planta de emulsiones acrílicas se fabrican las emulsiones de estireno y vinilo acrílicas, principalmente, con 3 reactores, siendo el mayor volumen el de la división de recubrimientos de papel. Todos estos reactores son gobernados por una computadora de proceso que permite realizar las cargas de ellos y controlar su proceso de operación.

Se cuenta con un área de almacenamiento a granel de 26 tanques, dos torres de carga de pipas y una estación de llenado de tambores automática.

Dentro de esta planta, también se tiene el reactor de "Paraloids" que emplea otro tipo de proceso para productos de base solvente.

En el área de productos químicos especiales se tienen 3 reactores, un reactor de poliacrilatos que es dedicado para productos derivados del ácido acrílico, siendo el reactor con mayor capacidad de producción de la planta, un reactor de resina de intercambio iónico y un reactor de producto sulfonado donde se termina el proceso de estos productos que sirven para tratar aguas, vinos, etc. Éste además consta con 2

torres de lavado y una tolva como equipos auxiliares para terminar el proceso de resina. Este último equipo consta de una ensacadora y una "peletizadora" semiautomática.

Como última área está la de "Kathon" en donde se formulan agentes biocidas.

Los servicios que requiere la planta son de agua tratada, electricidad auxiliar, refrigeración y aire comprimido; así como sistemas de control ambiental, como son lavadores de gases ("scrubbers") y piletas de tratamientos de efluentes (8).

1.3 Política ambiental de Rohm and Haas

Todos los empleados de Rohm and Haas México, S.A. de C.V. Planta Apizaco, están comprometidos a:

- ✓ Cumplir con las leyes y regulaciones nacionales aplicables a esta planta como parte de la industria química y con otros requerimientos suscritos.
- ✓ Minimizar las emisiones de proceso al aire, agua, suelo y "eficientar" el uso de los recursos en las áreas de emulsiones acrílicas, productos químicos especializados y servicios generales (agua desmineralizada, refrigerada y vapor).
- ✓ Mantener un sistema de mejora continua para identificar y mejorar el desempeño ambiental con un enfoque hacia la prevención de la contaminación.
- ✓ Tener disponible esta política a clientes, vecinos, gobierno y público en general.

Este proceso de gestión ambiental proveerá las bases para definir y revisar los objetivos y metas ambientales.

1.4 Objetivo de la tesis

El objetivo de este trabajo es el de reducir el consumo de agua y los desechos que se generan dentro de la planta de emulsiones acrílicas, reduciendo la cantidad de aguas residuales, conocidas como agua blanca e implementando un sistema de recuperación de la misma.

El primer paso dentro de la planta de emulsiones acrílicas es realizar un balance de agua, mostrándolo en un gráfico.

Después es necesario identificar los puntos de descarga de los diferentes usuarios de agua, así como el tipo y cantidad de agua que se utiliza en cada punto.

Finalmente, es necesario enlistar la participación de los operadores de la planta en la generación e implementación de mejoras en la reducción y recuperación del agua blanca.

CAPÍTULO SEGUNDO

2. EL AGUA EN GENERAL

2.1 *El agua*

Virtualmente toda el agua que ha existido y que existirá en el sistema solar, se encuentra ahora en el planeta Tierra o planeta azul. Este "líquido de la vida" fluye en un continuo ciclo a través de plantas y animales, tierra y cielo (12).

¿Por qué el agua es tan importante? Es necesario sobrevivir, y se usa día a día. Y aún este recurso que es muy esencial para la vida está en un peligro irreparable. El ser humano ha estado incrementando en los últimos 100 años en una forma exponencial, la cantidad de residuos tóxicos que se vierten a la atmósfera, a la capa superior de la tierra y sobre todo al agua de ríos, lagos, corrientes subterráneas y océanos.

¿Qué se puede hacer? Se puede empezar a actuar y aprender acerca de los problemas y soluciones. La solución es muy sencilla. Se debe intervenir en la medida de las posibilidades. No es necesario enrolarse en un organismo en pro del ambiente, sino que uno mismo puede y debe realizar todo conscientemente.

El primer paso para lograr solucionar algo, es la identificación de los problemas y, posteriormente, se pueden dar soluciones; es muy común que cuando se presenta un problema todos quieran intervenir dando muchas soluciones y teorías y siempre creen que sus ideas son las mejores y las que funcionarán mejor. Sin embargo, lo más recomendable es sentarse a hablar serenamente para descubrir e identificar el/los problema(s). Una vez identificados, es posible dar las soluciones, pero es necesario que los que participen estén plenamente identificados y conscientes.

La palabra consciente es importante, si se quiere ahorrar agua en la industria es porque ya se está haciendo lo mismo en la propia casa. Es relevante que primero exista un compromiso con nosotros mismos y que después se actué. Si se pretende realizar cosas sin ningún sentido, el trabajo no va a estar bien hecho y no va a existir interés suficiente como para que salga bien.

2.2 Ciclo hidrológico

Toda el agua en nuestro planeta está perfectamente conectada y todo va a través de estados dentro del ciclo del agua (ciclo hidrológico). El agua de los océanos se evapora, forma las nubes, el agua se condensa en ellas y cae en lo que se conoce como lluvia. Cuando llega al suelo, el agua que corre se junta con el agua de la superficie, fluyendo de regreso hacia las corrientes de los ríos a los mares. O puede fluir a través de una planta, siendo absorbida por las raíces y luego liberada hacia el aire a través de las hojas. Un animal o el ser humano pueden ser parte de este ciclo. O se puede absorber a través del suelo y ser parte del agua de subsuelo. El agua puede ser parte de los glaciares o de las capas de hielo o estar suspendidas por varios miles de años en la profundidad del océano. Pero virtualmente toda el agua del mundo estuvo, estará y está en el planeta Tierra (9,11). La cantidad de agua que posee la Tierra es del 7% de su masa (18); la masa de la Tierra es de 5.974×10^{24} kg (13). Del total de agua, el 97% es agua salada, el 3% restante es agua dulce; de ese 3% de agua dulce el 0.7% está en lagos, ríos, acuíferos y atmósfera, y lo demás está congelado. Haciendo los cálculos se obtiene la tabla 2.1.

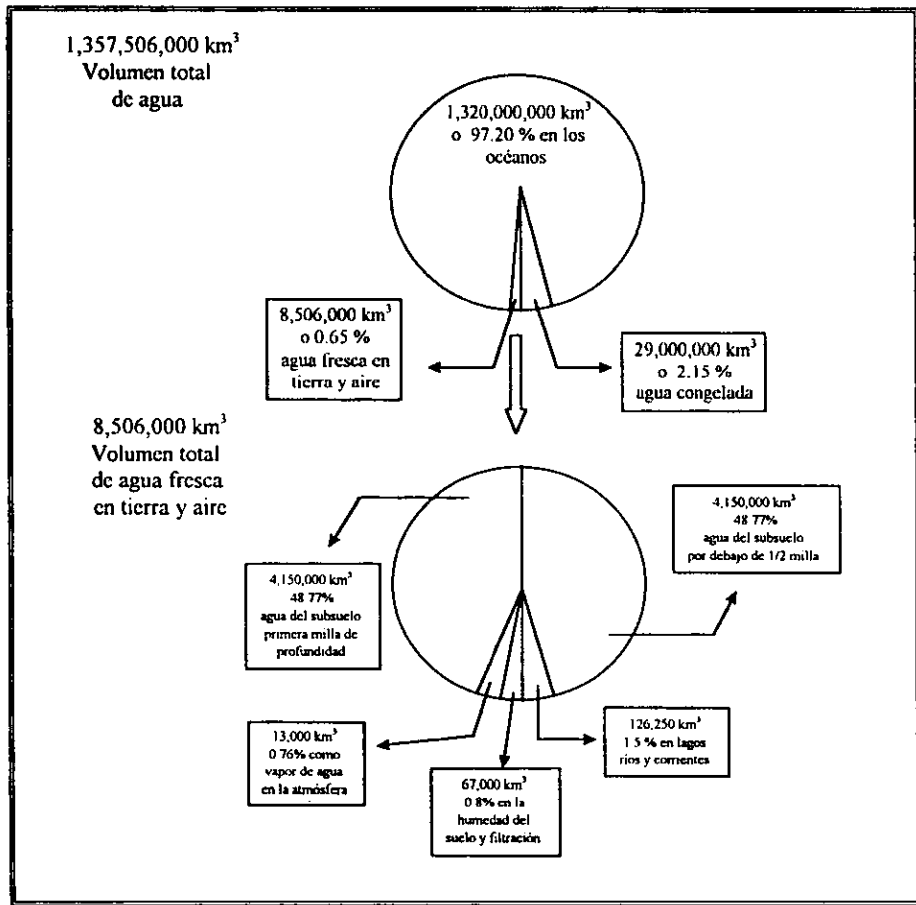
• Tabla 2.1 Distribución del agua total en la Tierra (18)

Cantidad (m ³)	Lugar
4.182×10^{20}	Agua total en la Tierra
4.056×10^{20}	Agua salada
1.254×10^{19}	Agua dulce
8.782×10^{16}	Agua en lagos, ríos, etc.
1.246×10^{19}	Agua congelada

Nadie se pone de acuerdo para reportar la cantidad de agua que hay en el planeta, lo calculan por diferentes métodos, toman muestras y hacen proyecciones, otros son estimaciones, y hay quien se basa en datos de la Tierra, como los datos anteriores. En la Fig. 2.1 se puede observar que el 97.2% del volumen total de agua en la Tierra está en los océanos. Este valor es de $1,320,000,000 \text{ km}^3$ y, sabiendo que 1 km^3 tiene $1 \times 10^9 \text{ m}^3$, se tiene que son $1.32 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de agua en el planeta, lo cual no

concuenda con la fuente anterior. El margen de error entre las dos cantidades, es muy grande, pero no hay todavía forma de tener datos fehacientes.

• Figura 2.1 Cantidad de agua disponible en el planeta (21)

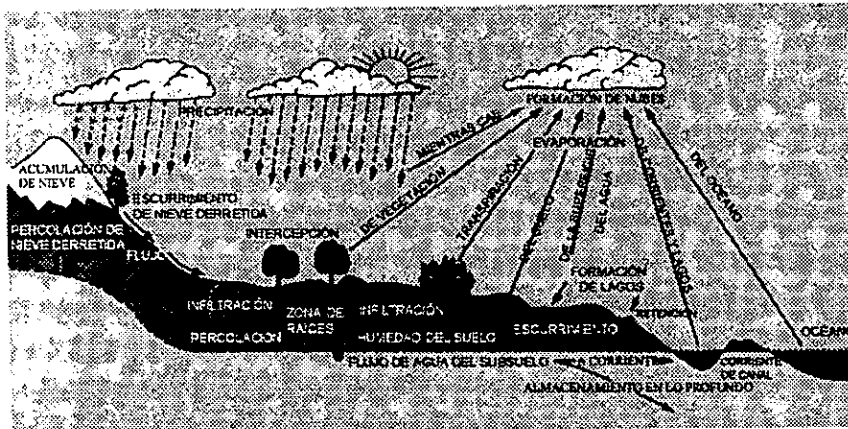


Una molécula de agua está suspendida en la atmósfera un promedio de nueve días. Cuando esta molécula llega a un río, el promedio de tiempo que dura hasta pasar al océano es de dos semanas. Y si se junta con alguna partícula sólida, pueden tardar un año y dos semanas. Una molécula de agua puede estar 10 años en un gran lago, 100

años como parte del agua del subsuelo, 120 años como parte del agua del océano. O puede estar suspendida en la profundidad del océano 3,000 años, 10,000 años en las profundidades del subsuelo, o 10,000 años en una capa de hielo en el Antártico (9).

En el ciclo del agua se dan, por etapas, la contaminación y la depuración del agua. Cuando se contamina el agua a una velocidad mucho mayor que con la que puede ser limpiada, se puede destruir la vida. Si se destruye el fitoplancton en los océanos, el cual produce al menos una tercera parte del oxígeno del planeta, se destruyen los pequeños animales y plantas que viven cerca o en el agua y los grandes animales que dependen de ella, entre ellos, el propio ser humano (6).

• Figura 2.2 Ciclo hidrológico (10)



2.3 Estadísticas

El agua es por mucho el líquido más importante encontrado en la tierra y es la sustancia más conocida por el hombre. La cantidad de agua presente en la tierra es tan grande que el grueso de capa sobre la superficie de la tierra es de 2500 metros, siempre y cuando toda la capa estuviera uniformemente sobre la superficie de la tierra (4).

A continuación se muestran una serie de tablas (2.2 a 2.7) enfocadas a balances de agua, donde es posible observar la cantidad de agua por cada continente, la cantidad de agua de los océanos y el balance general a nivel mundial de agua (21).

• Tabla 2.2 Balance de agua en el planeta (21)

Uso del agua	Volumen (miles de km ³)	Porcentaje del total de agua
Agua en áreas de tierra		
Agua fresca de lagos.....	125	0.009
Lagos salinos.....	104	0.008
Ríos (promedio de un volumen instantáneo).....	1.25	0.0001
Humedad del suelo y agua en los lodos.....	67	0.005
Agua a una profundidad de 4000 metros.....	8,350	0.61
Capas de hielo y glaciares.....	29,200	2.14
Total de agua en áreas de tierra (redondeado).....	37,847.25	2.772
Atmósfera.....	13	0.001
Océanos.....	1,320,000	97.227
Total de todos (redondeado).....	1,357,860.2	100
Evaporación anual¹		
de los océanos.....	350	0.025
de las áreas de tierra.....	70	0.005
Total.....	420	0.030
Precipitación anual		
en los océanos.....	320	0.024
en las áreas de tierra.....	100	0.007
Total.....	420	0.031
Escurrimiento anual de los ríos y capas de hielo hacia los océanos.....	38	0.003
Agua que sale de los océanos².....	1.6	0.0001
Total.....	39.6	0.0031

¹Evaporación (420,000 km³) es una cantidad del total de agua participante en el ciclo hidrológico anualmente

²Arbitrariamente se considera igual al 5% de la superficie de escurrimiento

La mayoría del agua se encuentra en los mares y océanos que es la fuente de prácticamente toda el agua que se encuentra en la tierra. La cantidad de agua evaporada en la atmósfera es llevada por el viento y se forma en nubes, de las cuales el agua regresa a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo. Una pequeñísima parte es condensada directamente sobre la superficie de la tierra en forma de rocío. La evaporación a través de las plantas contribuye con la evaporación natural con el sol y con la transpiración de los animales al agua en fase vapor. Otra porción penetra en el subsuelo hasta cierto nivel o estrato y esto ocasiona que después salga esa agua en

forma de fuentes, manantiales, canales, zanjas, charcos y ríos que fluyen hacia los lagos o regresan al mar.

Esta es la forma en que se encuentra el agua a nivel mundial, pero ¿Qué podría esperarse para el próximo paso, que es el año 2000? La tabla 2.3 muestra una expectativa de cambio en el balance de agua para inicio del próximo siglo.

• Tabla 2.3 Cambios del balance de agua para el año 2000 (21)

Elementos de balance	Balance ¹ de agua para 1974 (km ³)	Balance de agua para el 2000 (km ³)	Transformaciones naturales
Precipitación	110,300	110,300	
Escorrentamiento total	38,800 ²	37,500 ³	Conversión de 700 km ³ de superficie de escorrentamiento en humedad del suelo, recursos para tierras labradas, y 600 km ³ incrementan por la transpiración de los bosques y de la superficie
Escorrentamiento estable	14,000	22,500	Un aumento de 8,500 km ³ dado por lo siguiente:
Escorrentamiento del subsuelo y abastecimiento del subsuelo	12,000	17,000	Almacenamiento de 5,000 km ³ del subsuelo
Escorrentamiento regulado por lagos y depósitos	2,000	5,500	Regulación de 3,500 km ³ de inundación de depósitos
Escorrentamiento de superficie inundada	26,800	20,500	Uso de 6,300 km ³ de escorrentamiento de superficie, incluyendo 1,300 km ³ de humedad retenida en el suelo y largas evapotranspiraciones y 5,000 km ³ para almacenamiento de agua del subsuelo
Total de infiltración y humedad del suelo	83,500	89,800	Incremento de 6,300 km ³ debido a la humedad adicional de tierras que no han sido irrigadas e incremento por evapotranspiración de 1,300 km ³ además del almacenamiento del subsuelo de 5,000 km ³
Evapotranspiración	71,500	72,800	Incremento de 1,300 km ³ debido a los campos altos e incremento de la evaporación de los depósitos

¹Redondeando todos los valores

²No incluyendo escorrentamiento de hielo de los glaciares polares

³No incluyendo escorrentamiento de hielo de los glaciares polares y no tomando en cuenta el uso de consumo de agua para las necesidades humanas

Cuando el agua fluye a un nivel alto entre dos estratos imprevistos, tiende a moverse entre estos estratos o algún nivel bajo y, con toda probabilidad, lleva a una fisura de la superficie. Si la presión del agua es suficientemente grande como para causarle un chorro, el resultado es un manantial natural.

En los lugares donde se dan los manantiales termales, que se encuentran en ciertas partes del mundo y son usualmente regiones volcánicas o regiones en las que la actividad volcánica no ha llegado a ser extinta completamente. El agua es calentada, en estas regiones, a grandes profundidades por los depósitos de magma u otros depósitos a mayores profundidades. Como ejemplo de lugares en donde se encuentran manantiales termales están incluidos Karlsbad en Alemania (la temperatura del agua es de 75°C), el manantial termal del área de Yellowstone en Estados Unidos y los "geysers" de Islandia. En general, el agua de los manantiales termales se deriva de la precipitación. En ciertas áreas, esta agua es derivada de las precipitaciones. En otras áreas, es puramente de origen magmático y esto es derivado del agua de cristalización, por el rompimiento de minerales y rocas por las altas temperaturas que existen a grandes profundidades y esto fuerza a que exista una presión hacia la superficie.

• Tabla 2.4 Precipitación y escurrimiento por continente (21)

Elementos del balance de agua	Europa ¹	Asia	África	Norteamérica ²	Sudamérica	Australia ³	Área total de Tierra ⁴
Área (millones de km ²)	9.8	45.0	30.3	20.7	17.8	8.7	132.3
			en mm				
Precipitación, P	734	726	686	670	1,648	736	834
Escurrecimiento total de los ríos, R	319	293	139	287	583	226	294
Escurrecimiento del subsuelo, U	106	76	48	84	210	54	90
Escurrecimiento de la superficie, S	210	217	91	203	373	172	204
Total de infiltración y humedad del suelo, W	524	509	595	467	1,275	564	630
Evaporación, E	415	433	547	383	1,065	510	540

¹Incluyendo Islandia

²Excluyendo el Archipiélago de Canadá e incluyendo América Central y el Caribe

³Incluyendo Tasmania, Nueva Guinea y Nueva Zelanda, solo dentro de los límites del continente: P- 440 mm; R- 47 mm; U- 7 mm; S- 40 mm; W- 400 mm; E- 393 mm

⁴Excluyendo Groenlandia, el Archipiélago de Canadá y Antártica

La Tabla 2.5 muestra la cantidad de agua por precipitación y escurrimientos en los continentes. México se encuentra dentro de Norteamérica.

La mayor precipitación y escurrimientos se presentan en Sudamérica. Esto es debido al clima y por la selva. Se puede decir que todavía es la parte más verde del mundo.

La tabla 2.5 relaciona el volumen por escurrimiento con la población mundial. En ella se puede apreciar que, en el continente americano, es donde se encuentra un escurrimiento per cápita mayor, pero que en Asia es donde se produce el mayor escurrimiento ya que el nivel per cápita disminuye debido a la gran población que tiene el continente asiático.

• Tabla 2.5 Volumen de escurrimiento per cápita (21)

	Población en millones (1969)	Volumen total anual de escurrimiento de los ríos (km ³)	Volumen estable anual de escurrimiento de los ríos (km ³)	Volumen total de escurrimiento per cápita (m ³ /año)	Volumen estable de escurrimiento per cápita (m ³ /año)
Europa	642	3,110	1,325	4,850	2,100
Asia	2,047	13,190	4,005	6,440	1,960
África	345	4,225	1,905	12,250	5,500
Norteamérica	312	5,960	2,380	19,100	7,640
Sudamérica	185	10,380	3,900	56,100	21,100
Australia ¹	18	1,965	495	10,900	2,750
Total de área de Tierra	3,549	38,830	14,010	10,940	3,950

¹ Incluyendo Nueva Guinea y Nueva Zelanda

Otro balance que se puede mostrar es el relacionado con los océanos y los mares. Para ver cómo está distribuida el agua a través de ellos es necesario conocer de qué dimensión es cada uno, lo cual se muestra en la tabla 2.6.

• Tabla 2.6 Volumen de los océanos (21)

Océano	Área (10 ⁶ m ²)	Profundidad (metros)	Volumen (10 ¹⁵ m ³)
Ártico	14,090	1,205	17.0
Pacífico Norte	83,462	3,858	322.0
Pacífico Sur	65,521	3,891	254.9
Atlántico Norte	46,772	3,285	153.6
Atlántico Sur	37,364	4,091	152.8
Indico	81,602	4,284	349.6
Antártico	32,249	3,730	120.3

Para el balance de los océanos se muestra en la tabla 2.7 la precipitación, la evaporación, el flujo de agua proveniente de los continentes y el balance de agua.

• Tabla 2.7 Balance de agua en los océanos (21)

Océano	Área miles km ²	Precipitación miles km ³	Evaporación miles km ³	Flujo de agua que entra miles km ³	Balance de agua miles km ³
Pacífico	178,700	260	269.7	14.8	5.1
Atlántico	91,700	92.7	124.4	20.8	-10.9
Índico	76,200	100.4	108.0	6.1	-1.5
Ártico	14,700	5.3	8.2	5.2	2.3
Mundo	381,300	458.4	610.3	46.9	-5¹

¹Para que el resultado del balance sea cero, es necesario tener los números reales de las áreas de los océanos, ya que los presentados en la tabla son redondeados

Toda esta agua es por precipitaciones y escurrimientos y no muestra realmente de esa agua cuál es susceptible de usarse. Sin embargo, son interesantes en cuanto a cómo llega a cada continente, pero lo que realmente sirve para saber el uso del agua, es ver la forma en que está distribuida el agua y la disponibilidad que tiene para aprovecharse.

2.4 El agua usada en la industria

La calidad del agua que se requiere para uso industrial es variable (amplio intervalo de demanda de oxígeno, sólidos inorgánicos, residuos de minerales, orgánicos biodegradables, iones de metales).

Todas las operaciones industriales producen agua de desperdicio, las cuales son retornadas al ambiente. Las aguas de desperdicio se pueden clasificar como:

- *Aguas de desperdicio de tipo doméstico.* Las producen los obreros de la planta, en las instalaciones sanitarias y en las cafeterías o comedores para obreros y empleados.
- *Aguas de desperdicio del proceso.* Son resultado de los derrames, fugas, lavado de equipos e instalaciones e incluso por separación de productos secundarios.
- *Aguas de desperdicio de enfriamiento.* Se producen en los diferentes procesos de enfriamiento, que pueden ser sistemas de un solo paso o sistemas de enfriamiento con recirculación múltiple.

Los primeros utilizan grandes volúmenes de agua de enfriamiento, que se usan una sola vez y se devuelven al ambiente.

Los sistemas de enfriamiento con recirculación múltiple tienen varios tipos de torres de enfriamiento, para enviar el exceso de calor al medio ambiente y requieren purgas periódicas para evitar el exceso de sales. Rohm and Haas cuenta con este último sistema de enfriamiento. El agua que sale de las purgas constantes se va directamente al drenaje municipal, sin pasar por un tratamiento para la eliminación de ese exceso de sales.

Por lo general, las aguas de desperdicio doméstico se manejan mediante el sistema normal de drenaje sanitario, para prevenir la diseminación de microorganismos patógenos, que pueden dañar al ambiente a través de reacciones bioquímicas directas o indirectas. Algunos desperdicios del proceso son fácilmente biodegradables y crean una demanda inmediata de oxígeno. Otros desperdicios del proceso son tóxicos y representan un peligro directo para la salud de la vida biológica en el ambiente. Las aguas de desperdicio de enfriamiento son las menos peligrosas cuando no se les adicionan biocidas, pero pueden contener aguas de desperdicio del proceso, resultado de fugas en los sistemas de enfriamiento. Las aguas de enfriamiento con recirculación tienden a concentrar contaminantes inorgánicos y orgánicos hasta un punto en que pueden producir daño (16).

2.5 Cero descargas

2.5.1 Cero descargas: Una aproximación sistemática para el reúso del agua

Antes, para comodidad de las plantas, el agua era esencialmente gratis y aparentemente no había límites para su disponibilidad. Por lo tanto, era tratada de diferente manera a como hoy se hace. El medio como lo realizaban era eliminando los residuos químicos en las aguas. Era muy raro que alguien redujera la cantidad de agua utilizada y, mucho menos, que alguien la reutilizara y cuando estas opciones eran planteadas, las plantas se justificaban diciendo que los costos de tratamiento eran muy elevados y no convenientes.

Mucho ha cambiado en el manejo del agua hoy en día. El incremento en el precio del agua, las prolongadas sequías y las regulaciones ambientales hacen de la reducción y de la reutilización del agua, algo meramente esencial. Hoy en día existen más facilidades para implementar programas en las plantas pero, en la ausencia de industrias estándar ¿Cómo se definen estos programas? ¿Cómo se implementan? ¿Y cómo se ejecutan? Esto varía de planta en planta y de dueño a dueño.

En suma, el reúso del agua óptimo debiera ser llegar a cero descargas, aunque el significado del término "cero descargas" varía. Comúnmente se refiere a la facilidad de eliminar los desechos de las descargas de agua. El concepto fue concebido por el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés), es un programa de regulación con metas de eliminación de descargas de contaminantes en los cuerpos receptores de los Estados Unidos. Para ayudar al diseño y la ingeniería del proceso, el Centro del Instituto Americano de Ingenieros Químicos para la Tecnología de Reducción de Desechos está desarrollando una guía práctica para el uso del agua.

El proceso de acercarse más a las plantas para realizar un balance de agua conlleva algunos riesgos, problemas y desventajas, como son:

- ✦ Problemas de mantenimiento. La concentración de las sales se incrementa en el agua y no es muy común que los límites de solubilidad sean alcanzados sino que empiezan a ascender, especialmente en los intercambiadores de calor. Es muy común que el resultado de la calidad del agua llegue a ser incompatible con la metalurgia seleccionada por diferentes condiciones. Los esfuerzos por combatir la corrosión a través de estar ajustando el pH o cambiando la configuración del flujo, aparentemente puede ser la solución, solo que se vuelve a presentar en unas pocas semanas en un lugar diferente de la planta. El problema se movió, pero no se solucionó.
- ✦ Reducción en la seguridad de la planta. El balance de agua de la planta puede depender mucho de su línea de operación. Cuando hay un paro en algún lugar de la

planta puede ser que la disponibilidad o el cambio de la calidad del agua afecte la operación en otro lugar de la planta.

- * Presencia de trazas químicas. El agua de reúso puede tener impurezas, como pueden ser trazas de metales o solventes orgánicos que aumentan la masa del agua, debiendo hacerse unas mediciones a escala piloto previas a la realización del balance.
- * Límites de concentración de desechos muy altos. En el proceso, al estar reutilizando el agua, es usual que la concentración de las sales y de otros contaminantes se eleven, esto puede ocasionar que se eleven a tal grado que los niveles de concentración o de toxicidad terminen por violar las regulaciones, aún cuando la masa de contaminantes no sea alta, pero una vez que se reutiliza se va concentrando más y más (2).

2.5.2 Situaciones para cero descargas

Existen algunas situaciones en las que es necesario optar por la opción de cero descargas. Por ejemplo:

- * Se va a instalar una nueva planta en un lugar en donde el abastecimiento de agua es poco, por lo que requiere que la planta sea diseñada para cero descargas. Similarmente, de otro modo sería ideal colocar una planta que tenga abastecimiento de agua bruta disponible, pero puede no estar cercano el lugar donde descargue sus desechos. En este caso, la opción debe estar entre buscar un sitio alternativo y el diseño de cero descargas.
- * Hay regulaciones que indican que la calidad del agua tratada, debe acercarse lo más posible a la calidad del agua cruda. En estos casos, la planta puede optar por escoger un tratamiento de desechos para reúso y reducción o confiar en que llegue a la calidad de agua cruda.

- * Los requerimientos administrativos para la regulación de los programas de desechos, pueden causar que se opte por el sistema de cero descargas; de este modo se evita que gente externa se pasee por la planta para revisarla.

Del mismo modo, hay algunas industrias o plantas, para las cuales el concepto de cero descargas está esencialmente fuera de contexto o planteamiento. Estas son primeramente industrias en donde la calidad del producto depende de las trazas. Así por ejemplo, la industria farmacéutica, la de alimentos y la de bebidas, son generalmente muy reguladas. Esto ocasiona que la reutilización del agua sea muy difícil. En la industria electrónica, es mucho más rigurosa la calidad de agua que requiere por lo que el reúso no se ha considerado.

No obstante, la mayoría de los procesos de una planta cualquiera, cae dentro de estos dos extremos: donde el sistema de cero descargas no es obligatorio o donde es necesario instalar un sistema de tratamiento muy complejo o sofisticado. Antes que tener una mente que siempre esté buscando la mejora, es decir, hacia las cero descargas, es más importante desarrollar un sistema de aprovechamiento que se acerque o conduzca a una prudente y eficiente planta en el manejo de agua.

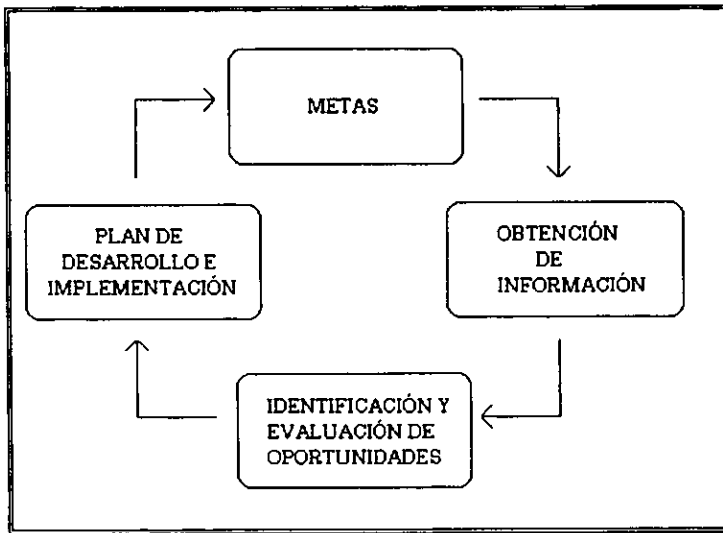
2.5.3 Una aproximación sistemática

Para muchas plantas, es obvio que la opción de la reutilización del agua ya está siendo adoptada. Frecuentemente, una vez que ha pasado de lado a lado el enfriamiento con agua cruda se esta remplazando con un sistema abierto de recirculación, usando una torre de enfriamiento.

Como resultado, el sistema de varias plantas ya es más complejo. El cambio individual del sistema de agua puede causar indescifrables sorpresas en las corrientes subterráneas cuando está operando la planta. Una aproximación sistemática para la reutilización del agua requiere de estar anticipando e identificando las oportunidades para poder realizar una implementación efectiva a lo largo de la planta, que pueda ser benéfica, antes que disminuir la eficiencia de la planta (3).

En la Fig 2.3 se muestra un seguimiento para una aproximación sistemática para la reutilización del agua.

• Figura 2.3 Plan sistemático para obtener cero descargas



Metas

Se sabe que los beneficios que intenta la planta son derivados de la utilización que se le dé al agua en el programa. El agua reutilizada sistemáticamente beneficiará a la planta si las oportunidades son evaluadas contra los puntos bien definidos de metas. Como ejemplos de metas están los siguientes:

- ⊕ Mejorar la concientización estableciendo récords en la planta para la descarga de agua de desecho.
- ⊕ Expandir la capacidad de producción de la planta sin incrementar la demanda de materia prima.
- ⊕ Dar a conocer cuáles son las mejores y los peores metas a nivel corporativo para la reducción del agua.

- ⊕ Conocer las condiciones implantadas para una nueva planta o que están en permiso bajo la revisión de las regulaciones.
- ⊕ Continuamente estar mejorando el valor obtenido de descarga de agua de la planta.
- ⊕ Minimizar el impacto de la calidad de agua que sale de la planta.
- ⊕ Eliminar los trámites administrativos asociados al consentimiento de la descarga de aguas de desecho.

Obtener información

La información obtenida acerca del sistema de agua de la planta es la llave para el mejoramiento y la eficiencia del agua que se usa. Los tipos de información que se deben obtener son los siguientes:

- ⊕ Cantidad de agua disponible. Aunque la calidad del agua cruda que abastece a la planta es bien conocida, la calidad de otro tipo de agua que se utilice en la planta es muy probable que no se conozca. Cada sitio en la planta tiene una corriente de agua cruda que se utiliza para cosas distintas. El agua de lluvia, por ejemplo, es una corriente que puede ser recolectada.
- ⊕ Saber exactamente qué calidad de agua se requiere. Se debe conocer la calidad de agua requerida para cada corriente que se usa en la planta, porque en un futuro se puede necesitar la información. Es necesario almacenar los datos de la calidad de agua requerida en cada proceso. Estos son los llamados factores de seguridad, los cuales, se sobreentiende que tienen un costo elevado de mantenimiento.

Los requerimientos actuales son menos rigurosos que los de hace algunos años. Mientras los costos por usar el agua son considerados, probablemente más altos que antes cuando el factor de seguridad fue desarrollado. Cuando un proceso usa agua de mayor calidad que la que necesita, la planta pagará más. Este dinero podría ser usado para cubrir los costos de tratamiento y reúso.

Los operadores son los que conocen los procesos más eficientes y qué tipo de calidad de agua se necesita y explícitamente deciden donde se va a realizar el balance de agua entre tratamiento de agua y seguridad del proceso.

- ⊕ Variabilidad del flujo y calidad de agua. La calidad del agua y el flujo son rara vez siempre constantes. Las operaciones cíclicas como filtración y desmineralización y operaciones intermitentes ("batch"), pueden causar variaciones substanciales en la calidad del agua y del flujo. Diariamente y por temporadas puede cambiar la calidad del agua cruda y puede cambiar todo el sistema de enfriamiento que alimenta a la planta. Conociendo y entendiendo estas variaciones se puede diseñar la planta acomodando las más importantes variaciones. Las alternativas podrían ser un promedio o tomar la condición del peor de los casos y operar en forma relativamente ineficiente la mayoría del tiempo.
- ⊕ El aspecto físico de los flujos. Es muy importante saber dónde se encuentran el influente y los efluentes en la planta ¿Qué corrientes se combinan y dónde? Esto podría parecer un trabajo de detective, pero es importante estarlo revisando continuamente. Si el agua de una fuente específica es ampliada para que se reúse dentro de la planta, es potencialmente necesario que se conozcan todas las contribuciones de las fuentes y donde están localizadas. De otro modo, es inusual, pero puede suceder que, la descarga de una fuente de agua puede hacer estragos cuando hay un nuevo usuario de agua. Esto es debido a que el agua normalmente fluye por ductos subterráneos o canales.
- ⊕ Balance general de la planta. Es de mucha ayuda el conocer la calidad de agua y el flujo a través de toda la planta. Con agua de reúso, la calidad de agua de la planta varía, por lo tanto en cualquier punto puede ser afectado el proceso por cambios en otros lugares. Un balance de materia indica el flujo del agua y la calidad del agua, una vez teniendo estos parámetros se puede hacer la pregunta ¿Y si...? Los diseñadores pueden encontrar que hay un impacto potencial cuando se cambia el proceso, en lugar de estar esperando aprender de los resultados actuales.

Afortunadamente algunos simuladores de proceso comerciales ya tienen integrados los parámetros de calidad del agua. Muchos creadores de "software" de simuladores, están trabajando para acomodar esto. En poco tiempo los simuladores van a estar de acuerdo a las necesidades del cliente y cada uno podrá realizar un buen balance de agua para su planta.

Identificación de las oportunidades para la reutilización del agua

Conociendo y entendiendo las metas de la planta y teniendo información acerca de los flujos y de los requerimientos de agua, es posible buscar y evaluar oportunidades para la reutilización del agua. Existen muchas estrategias para la identificación de estas oportunidades.

- ⊕ Estableciendo categorías de las corrientes de agua y de los usuarios, con el fin de facilitar el complejo balance de agua, ya que pueden existir cientos de corrientes de agua y docenas de usuarios. Es más, pueden existir mas de 20 constituyentes del agua que deben de ser seguidos y monitoreados para asegurar su correcta operación.

Se requiere de una simplificación si la ingeniería de la planta tiene un cambio sistemático. Esto se puede hacer comparando los usos del agua con las corrientes de agua disponibles. Desarrollando las categorías de las corrientes de agua y los requerimientos de agua se puede simplificar mucho el trabajo, al comparar las necesidades con la disponibilidad. Para que pueda funcionar se requiere de prueba y error, pero bien puede valer la pena. Por ejemplo una planta puede estar categorizando sus corrientes de agua por el contenido de sales o por el total de sólidos disueltos, contenido de partículas suspendidas o por el carbón orgánico total. En algunos casos, unos cuantos constituyentes críticos pueden necesitar estar bien monitoreados. Por ejemplo, si hay un problema de escalamiento en la planta, de dureza y silicatos, pueden entrar dentro de la categorización.

Para cada uno de estos constituyentes, los intervalos de concentración se deben establecer. Se sugiere que se simplifique usando unos cuantos valores que pueden dar magnificos resultados. Puede que sea suficiente con "bajo" y "alto", pero

frecuentemente se usan cuatro niveles que son "nada", "bajo", "medio" y "alto". Es posible categorizarlos y ver los avances del programa de reuso del agua. Una vez que está en desarrollo la categorización, se puede usar la caracterización de la calidad de cada corriente de agua y de la calidad de agua que requiere cada usuario:

- ⊕ Comparando las categorías con los usuarios potenciales. Para una planta pequeña, prácticamente se puede comparar directamente las necesidades de los usuarios de agua con la cantidad de corrientes de agua que tiene disponible la planta. Para la mayoría de las plantas, una caracterización del proceso puede permitir opcionalmente corrientes y usuarios más de una vez. Dado que las categorías son muy amplias para cada punto potencial, son comparadas las necesidades para ser examinado, esto es, para ver si es verdaderamente comparable. Además, como las prácticas o ensayos son muy parecidos al flujo, necesitan ser considerados para determinar si pueden ser comparados con los valores reales.
- ⊕ Buscando siempre estar mejorando las corrientes de agua. Afortunadamente, no es corta la edad de la tecnología para tratamiento de aguas. Cuando una corriente de agua está muy cerca de la calidad de agua que necesita un usuario, ésta fácilmente se puede mejorar para tenerla a las condiciones necesarias. Por supuesto, mientras el tratamiento sea posible, es importante considerar la fuente u origen del agua. Es posible que esté operando bajo condiciones en las que la fuente u origen pueda ajustarse para que se mejore la calidad de agua producida. Esto lleva a un costo más elevado que estar tratando las descargas después de la salida.
- ⊕ Checar los impactos que traen como consecuencia los proyectos propuestos para todo el balance de agua en la planta. Esta es la importancia de tener un balance que no caduque. Los cambios que se hayan realizado separadamente, pueden repercutir en las necesidades de la calidad del agua de los usuarios una vez que se metieron corrientes para reuso en todo el sistema. El propósito de cambiar alguna corriente puede perjudicar a otra que a lo mejor no se le había considerado ningún cambio. Un balance de agua es el mejor camino para evaluar a todo lo ancho de la planta el impacto que causan las oportunidades de reuso del agua.

- ⊕ "Priorizar" los proyectos propuestos. Poner en orden y darles prioridad a los proyectos con criterios específicos aplicables para las oportunidades de reúso del agua dentro de la planta. Preferentemente, los criterios deben de estar ligados a las metas que se marcaron en el programa de reúso del agua. En consecuencia, se pueden encontrar contaminantes específicos, operaciones unitarias y otros criterios que también son importantes en la planta. Una vez establecidos estos criterios, son la base para darle prioridad a los puntos y distribuir las oportunidades desarrolladas.

Implementación del plan maestro

Una vez propuestos y dándoles prioridad a los puntos del proyecto de reúso del agua y, con esto, desarrollando un plan maestro, se asegura que el proyecto se va a ejecutar como una innovación consistente con las metas propuestas para la reutilización del agua en la planta y considerándolo como un proyecto que necesita presupuesto, agenda y recursos humanos. El plan usualmente incluirá para cada proyecto un concepto de diseño, es decir, un programa que requiere de estimación de costos. Este plan maestro sirve como mapa y como documento de control para el programa de reúso del agua.

Un proceso continuo

Con una implementación, el proceso continuo debe completarse, si el proceso continuo está constituido por procesos de producción, calidad de agua cruda, descargas permitidas, cambio de metas en la planta y el esfuerzo dinámico para la reutilización del agua en la planta. También es necesario considerar las tecnologías nuevas de tratamiento de agua que vienen con más tecnología y obviamente con un mayor costo. Consecuentemente, es vital que las metas sean reexaminadas periódicamente. La calidad de información se debe mejorar, además de que se pueden investigar nuevas oportunidades para la reutilización del agua y los planes maestros se deben actualizar. Realizando todo esto es seguro que se llegue a un sistema de implementación certero y eficiente (1,14,19,20).

2.6 Uso del agua

El agua es usada directamente por el hombre en la industria como materia prima, generación de electricidad, para la agricultura y para uso doméstico o comercial. La tabla 2.8 muestra dichos usos para América del Norte, Centroamérica y el Caribe.

• Tabla 2.8 Balance de agua por sectores en América de Norte, Centroamérica y el Caribe (21)

País	Año	Disponibilidad		Consumida		Sector (porcentaje)			
		Total km ³ /año	Per cápita miles m ³ /año	Total km ³ /año	Per cápita miles m ³ /año	Pública	Industria	Electricidad	Agricultura
Barbados	1962	0.05	0.23	0.03	0.12	45	35	0	20
Canadá	1977	3122.00	134.24	30.00	1.29	13	39	39	10
Costa Rica	1970	95.00	54.85	1.35	0.78	0 ¹	8	0	92
Cuba	1975	34.50	3.70	8.10	0.87	14	4	0	83
Rep. Dominic	1975	20.00	4.04	— ²	—	—	—	—	—
El Salvador	1975	18.95	4.57	1.00	0.24	17	0	0	83
Guatemala	1970	118.00	21.67	0.73	0.14	0	18	0	82
Haití	—	11.00	2.13	—	—	—	—	—	—
Honduras	1970	102.00	38.65	1.34	0.51	0	4	0	96
Jamaica	1975	8.30	4.06	0.32	0.16	3	6	0	91
México	1975	357.40	5.94	54.20	0.90	5	7	0	88
Nicaragua	1975	175.00	72.67	0.89	0.37	18	45	0	37
Panamá	1975	144.00	82.38	1.30	0.74	12	11	0	77
USA	1975	2478.00	11.47	472.00	2.19	10	11	38	41

¹0 = cero o menos del la mitad de la unidad de medida

²— = no disponible

2.6.1 Uso industrial

El agua de uso industrial es usada en la manufactura de los productos como el acero, compuestos químicos, papel, alimentos, etc. El uso del agua industrial incluye agua usada en el proceso y agua de producción, alimentación a los calentadores, aire de acondicionamiento, enfriamiento, lodos, transporte de materiales y generación de corrientes para uso interno. Esto no incluye la generación para venta a otros usuarios, minerales de las minas o la extracción del crudo y gases, que están incluidos en otras categorías de uso de agua (15).

Las actividades del uso del agua industrial en que están incluidos son: la retirada del agua del subsuelo y de la superficie; reparto para el abastecimiento público; uso a través de la evaporación y la incorporación de producto (como en las plantas

embotelladoras de bebidas); agua y tratamiento de desechos, reciclaje, desarrollo de sistemas para la recolección de desechos y flujo de retorno al subsuelo y superficie.

El uso del consumo industrial ocurre a través de la evaporación durante el trabajo de las torres de enfriamiento o por la incorporación hacia los productos, especialmente en el procesamiento de alimentos y bebidas, como las embotelladoras o enlatadoras. En las dos décadas pasadas las industrias disminuyeron sus tomas de aguas del subsuelo y empezaron a reciclarla sin tener plantas especiales para tratar sus desechos, debido al alto costo del tratamiento. Existe un incremento en el consumo y va asociado con el agua reciclada.

Después de usar el agua, los desechos pueden ser tratados *in situ*, liberándose después con un sistema de recolección de desechos, siendo las aguas tratadas regresadas directamente a fuentes de agua superficiales o a un sistema séptico o a una combinación de ambos. Los programas de pretratamiento industrial han sido sostenidos por una organización que facilita los tratamientos de desechos para regularlos o monitorearlos y separarlos por tipo de contaminantes.

El total de agua de uso industrial lo pueden dominar unas cuantas industrias. Una o dos grandes industrias puede usar más del 50% de agua por un área industrial dada. El agua usada por las industrias puede cambiar significativamente en un intervalo corto de tiempo debido a una variedad de factores socioeconómicos, como los cambios en la tecnología, calidad del agua, demanda de consumo, paros, los negocios fallados y recién comenzados. Por estas razones es importante tener un sitio específico para la recolección de ellas en las grandes industrias (7).

Con base en estos conceptos, en el siguiente capítulo se desarrolla la metodología experimental para encontrar los puntos de mayor generación de descarga, las cantidades y la forma en que se puede reutilizar el agua.

CAPÍTULO TERCERO

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental empleada en esta tesis está basada en los siguientes puntos:

Recolección de datos: donde se incluye ¿Cómo, dónde y cuánta agua se tira en cada lugar? Esta parte es una labor de detective, ya que hay que identificar líneas y seguirlas. Es una tarea laboriosa, pero es necesario que se realice.

Balance de agua del sistema: Se explica de manera detallada la forma en que se obtuvieron los números indicados en el diagrama de la planta (en algunos casos es necesario omitir la descripción debido a que se maneja información confidencial para la planta). Con base a los datos obtenidos, se procede a balancear el sistema, que es uno de los objetivos de esta tesis, ya que conociendo el balance, se pueden identificar claramente las acciones a seguir para llegar a una minimización de su consumo y de la generación de aguas residuales.

Implementaciones y recomendaciones: Se muestran las gráficas de los puntos con mayor generación de descargas y el resultado del balance. Se ponen en práctica las acciones inmediatas posibles, para evaluarlas y se exponen las recomendaciones que pueden implementarse en un futuro próximo, así como la lluvia de ideas de los operarios que han apoyado este trabajo y la serie de ideas identificadas en la planta para una proyección a futuro.

Para poder realizar el balance primero se deben identificar los puntos donde se genera agua residual y que tipo de agua.

Existen 3 diferentes tipos de agua:

- ♠ Agua cruda
- ♠ Agua D.I. (desionizada)
- ♠ Agua de refrigeración

Definiciones

Agua blanca, WW, por sus siglas en inglés (White Water)

Las aguas blancas son aquellas que se obtienen de los enjuagues de los reactores, de las tinajas o de cualquier lugar en donde se haya encontrado el producto y, por consiguiente, al realizar el enjuague se obtiene agua blanca, ya que el agua tiene sólidos ya sea desde <1% hasta casi puro producto. Actualmente se trata de reducir el consumo de agua, recolectar todas las aguas blancas y reutilizarlas. Dicho trabajo tiene como fin último el de no tirar nada de agua blanca hacia piletas de tratamiento. Las aguas blancas se conocen como "white water", porque las emulsiones acrílicas tienen un aspecto y color lechosos.

Agua cruda

El agua cruda alimenta a toda la planta. Se extrae del pozo que se encuentra en la zona más alta de la planta; esta agua se extrae del subsuelo y de ella se obtienen los otros dos tipos de agua, es decir, el agua desmineralizada y la de refrigeración.

Agua desionizada (D.I.)

El agua D.I. se obtiene en las unidades aniónicas y catiónicas que contienen resina para poder desmineralizar el agua y poder usarla en los diversos productos en la planta. Existe un medidor de agua cruda que alimenta a dicho sistema y toda el agua cruda que entra pasa por el proceso de desmineralización, por lo que dicho medidor indica la cantidad de agua D.I. que utiliza toda la planta; es decir, tanto la planta de productos químicos especiales (P.Q.E.), como de emulsiones acrílicas (E.A.). Además, el agua D.I. es utilizada en los enjuagues de los reactores y cuando se hace limpieza.

Agua de refrigeración

El agua de refrigeración también es agua cruda, solo que se manda a las torres de enfriamiento y se deposita en una cisterna. Se utiliza para los serpentines y las chaquetas de los reactores como agua de enfriamiento. Dicha agua no tiene por qué perderse, ya que todos los equipos tienen instalada tubería de retorno a dicha cisterna. Sin embargo, hay lugares donde se pierde este tipo de agua, como se verá más adelante.

3.1 Levantamiento y reconocimiento del área de la planta

Se tomaron lecturas diarias de los medidores de agua cruda que recientemente fueron instalados en la planta.

Se desarrollaron diversas actividades con el fin de conocer el modo en que los operarios realizaban la limpieza en los diferentes equipos; también se midió la cantidad de agua que emplearon para llevar a cabo dicha limpieza.

En esta parte se analizó la planta para identificar los puntos de generación de aguas residuales dentro de la planta, se siguieron tuberías, se realizaron entrevistas con los operarios, se dibujaron isométricos, se siguieron líneas del alcantarillado. Un método para realizar esto fue, el de agregar anilina de color oscuro al alcantarillado para poder identificar las corrientes, por donde van, y de donde vienen.

3.1.1 Objetivo

Ubicar dentro de la planta los diferentes usuarios de agua y las salidas de descarga, así como sus cantidades, haciendo varias mediciones para tener datos lo más cercanos a la realidad.

Actividades

Las mediciones que se realizan, se hacen por lo menos tres veces como mínimo, pero normalmente son cinco mediciones, para tener datos verídicos. Esto es, se toman cinco mediciones y se reporta el promedio y con éste se hacen los cálculos para el balance. Se identifican los puntos de descarga en toda la planta y se define qué tipo de agua se está tirando. Se decidió que se va a dividir en dos partes la localización y la medición de agua, para tener un mayor control. Las dos partes en que se divide el sistema son las siguientes:

Limpieza de los reactores

En esta zona se miden las cantidades de las diferentes limpiezas que se hacen en los reactores.

Limpieza de zonas de la planta

Se refiere a las salidas de agua de otros lugares localizados dentro de la planta, como son, mangueras, lavabos, limpieza de líneas, limpieza de tinas, limpieza de pisos, etc.

3.1.2 Limpieza de los reactores

Cuestionarios

Se elaboró un cuestionario para que fuese llenado por los operarios de los reactores, con el fin de saber las cantidades y la forma en que realizan las limpiezas de los reactores, donde se les preguntaba la forma en que realizaban una limpieza y las cantidades que empleaban para hacerla. Gracias a este cuestionario pudo constatar que existen diferencias entre operador y operador para un mismo tipo de limpieza. De dicho cuestionario se concluye que es necesario estandarizar a todos los operarios en la forma de limpieza, ya que ellos no siempre siguen el procedimiento interno de la planta de limpieza ISO 14001 EAC020.

Además, es importante destacar las relaciones humanas dentro de la empresa, entre el soporte técnico y los operadores. Los operarios tienen su forma de pensar y de expresarse y uno debe saber escucharlos porque, a pesar de que no tengan formación profesional, es importante valorar sus ideas. La relación con ellos siempre debe ser cordial y atenta, sabiendo explicar las cosas de manera explícita y bien definida para que pueda llevarse a cabo la comunicación y la confianza, porque ellos conocen muy bien la operación del equipo y qué fallas tiene. Por ello, nunca debe descartarse la importancia de las relaciones humanas.

A continuación se muestran las diferentes tipos de limpiezas que se realizan en los reactores de emulsiones acrílicas.

Limpiezas con "Heliojet"

El "heliojet" es un sistema que permite descargar grandes cantidades de agua en fase vapor con alta presión y elevada temperatura, el cual, al introducirse en un tanque o reactor, limpia la superficie del tanque.

Existen dos sistemas de "heliojet"; que para el presente trabajo se denominan: "heliojet 1" y "heliojet 2".

El "heliojet 1" se dejó de utilizar debido a que se compró uno nuevo, con características similares, con la diferencia de que el "heliojet 2" debe trabajar a mayor presión de descarga; el "heliojet 1" estaba trabajando con una presión de descarga de 1333.7 kPa (200 psi) 180°C y una descarga de agua de 1000 litros por cada posición. El nuevo "heliojet 2" no está trabajando con las condiciones a las que debería. Actualmente está trabajando con 1333.7 kPa (200 psi) 180°C y una descarga de agua de 710 litros por cada posición. El "heliojet 2" debería de trabajar con una presión de descarga de 2667.5 kPa (400 psi), por lo que queda como recomendación que se le dé una inspección al equipo para poder aumentar su presión de descarga.

En el reactor A, se pudieron hacer varias mediciones con el "heliojet". Se tiene la ventaja de que hay dos tanques; debido a ello, el agua del "heliojet" se pasaba a uno de los tanques, (siempre y cuando estuviera vacío). Posteriormente con la ayuda del registro de datos (Sistema de Control Distribuido, DCS), dirigido por medio de computadoras, se puede ver claramente la cantidad de agua que se paso del reactor al tanque por la diferencia de pesos y, como prácticamente es agua, se considera que la densidad es igual a 1000 kg/m³, por lo que el peso es igual a la cantidad de agua. La temperatura de descarga es de 180°C, pero la salida del "heliojet" es vapor y se condensa a una temperatura de 92°C, la presión atmosférica de Apizaco es de 73.97 kPa (10.78 lb/in²). La densidad del agua a 92°C, es de 963.284 kg/m³ (16), por lo que puede considerarse la densidad del agua igual a 1000 kg/m³, debido a que no se está realizando un cálculo exacto, sino que solo se pretende conocer la cantidad de agua que descarga el "heliojet" que, además, no siempre es la misma, como se puede apreciar en

la tabla 3.1. Se toma un punto decimal debido a que la computadora lo registra de esa manera.

Antes de que se instalara el "heliojet 2", se pudieron hacer mediciones de las cantidades de agua de descarga del "heliojet 1". Dichas mediciones fueron realizadas en el reactor A. La cantidad se vió en el cuarto de control con el sistema de control distribuido (DCS).

Cada "heliojet" tiene un "timer" y éste está regulado a 5 minutos con 10 segundos.

• Tabla 3.1 Mediciones con el equipo "heliojet 2" en cada reactor

Reactor A (litros)	Reactor B (litros)	Reactor C (litros)
1495.3	720	653
557	723.8	605
898.5	620.6	630
712.3	759.8	
834.4	727	
618.7		
Promedio 767*	710	630

* Para el reactor A, el promedio está basado en las cuatro últimas mediciones ya que las dos primeras se salen del intervalo de las demás mediciones

El promedio de los tres reactores es de 700 litros, pero al estar funcionando el "heliojet" se tiene una purga constante, a un costado del lugar donde se encuentra la base del "heliojet". Durante 5 minutos con 10 segundos que está operando el "heliojet", se descargan por la purga aproximadamente 10 litros, por lo que se considera que cada vez que se utiliza el "heliojet", por cada posición tiene una descarga igual a 710 litros. Esto es solo para el caso del "heliojet 2".

También se hicieron mediciones en el reactor A con el "heliojet 1", los resultados se muestran en la tabla 3.2.

• Tabla 3.2 Mediciones de "Heliojet 1" para el reactor A

	RxA (Litros)
	1017.97
	964.84
	967.19
	949.22
Promedio	974.81

El tipo de agua que utiliza el "heliojet", es agua cruda. Siempre que es posible antes de tirar la descarga, la pasan al tanque de ajuste, en caso de que se encuentre vacío, ya que se puede aprovechar ésta agua para la limpieza del tanque de ajuste.

Limpieza química "A"

La forma en que realizan esta limpieza es enjuagando las líneas y los tanques y lo hacen programando desde el cuarto de control las cantidades de agua D.I. que se presentan en la tabla 3.3.

• Tabla 3.3 Cantidad de agua D.I. para el reactor A

Rociadores	496 Litros
Líneas	504.7 Litros
Tanque 1	221.4 Litros
Tanque 2	220 Litros
Tanque 3	399.8 Litros
Calentamiento	3000 Litros
Total	4841.9 Litros

Después del tratamiento se pone el "heliojet" en dos posiciones.

En este tipo de limpieza se tiran dos tipos de agua:

♠ Agua D.I. contaminada con compuestos químicos que son tratados en las piletas.

♠ Agua cruda, que sale de la descarga del "heliojet".

Para los reactores B y C hacen la limpieza de la misma manera, solo que las cantidades son distintas debido a la capacidad de los tanques y de los reactores; la tabla 3.4 muestra las cantidades para cada reactor.

• Tabla 3.4 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "A"

Tipo de agua	RxC (Litros)	RxB (Litros)	RxA (Litros)
Agua cruda	1500	1500	1500
Agua D.I.	1600	2500	3500
Total	3100	4000	5000

Limpieza química "B"

Este tipo de limpieza la realizan cuando cambian de corrida, o sea, cuando cambian de producto; esto es para los tres reactores.

Los operarios le llaman a este tipo de limpieza *Tratamiento*; a continuación se muestra las cantidades de agua D.I. que cargan para realizar la limpieza (tabla 3.5).

• Tabla 3.5 Cantidad de agua utilizada en la limpieza química "B"

Tipo de agua	RxC (Litros)	RxB (Litros)	RxA (Litros)
Agua cruda	1500	1500	1500
Agua D.I.	1800	1800	3000
Total	3300	3300	4500

Limpieza química "C"

Este tipo de limpieza la realizan cuando están en la corrida de un mismo producto, pero la realizan con menos frecuencia, ya que la mayoría de las veces cuando están haciendo el mismo producto, meten el "heliojet". Esta limpieza que los operarios llaman *Hervida*, la hacen cuando ellos consideran que el reactor necesita una limpieza mayor, se realiza normalmente cuando el sistema de enfriamiento les empieza a fallar, esto es, que no enfría correctamente el agua de refrigeración, porque se hace una película de producto en las paredes del reactor.

Esta limpieza es igual que la anterior, la que ellos llaman *Tratamiento*, con la diferencia que en el *Tratamiento* no emplean el "heliojet", por lo que no se utiliza agua cruda y la única que se usa es agua D.I.

La tabla 3.6 muestra las cantidades que programan para hervir el reactor.

• Tabla 3.6 Cantidad de agua para la limpieza química "C"

Tipo de agua	RxC (Litros)	RxB (Litros)	RxA (Litros)
Agua D.I.	1800	1800	3500

Limpieza química "D"

Esta limpieza la realizan cuando el reactor se encuentra demasiado sucio y se tiene que limpiar perfectamente para que los siguientes productos no se contaminen. Este tipo de limpieza requiere de mucho tiempo en el reactor y es muy frecuente que se encuentre vacío el tanque al que se debe pasar, lo cual se hace normalmente, para aprovechar la solución y enjuagar el tanque.

La tabla 3.7 muestra las cantidades para cada reactor.

La tabla 3.8 muestra las cantidades en litros que entran al reactor por cada tipo de limpieza.

• Tabla 3.7 Cantidad de agua necesaria para la limpieza química "D"

Tipo de agua	RxB (Litros)	RxA (Litros)
Agua D.I.	7500	10000
Aditivo 1	2500	6000
Agua cruda	1500	1500
Total	11500	17500

• Tabla 3.8 Cantidad de agua real que utilizan por cada tipo de limpieza

LIMPIEZA	Tipo agua	RxA (Litros)	RxB (Litros)	RxC (Litros)
Química A	D.I.	3500	2500	1500
	Cruda	1500	1500	1600
Química C	D.I.	3500	1800	1800
Química D	D.I.	10000	7500	
	Cruda	1500	1500	---
	Aditivo 1	6000	2500	
Química B	D.I.	3000	1800	1800
	Cruda	1500	1500	1500

En el reactor C no se hace la limpieza química "D" debido a que el aditivo 1 daña el recubrimiento del reactor.

3.1.3 Limpiezas de zonas de la planta

Limpieza de las líneas de la zona de pipas

Se purga la línea y se recolecta el producto, luego se enjuaga la línea y los primeros 200 litros de agua se recolectan en un tambor y se etiquetan. Se toma una muestra y se manda a analizar el porcentaje de sólidos y es anotada en la etiqueta. Este

tipo de agua tiene un contenido alto de sólidos, debido a que en la línea queda producto que no es posible purgar.

Después de esto se llena la tina de pipas hasta una capacidad de 860 litros de agua y es bombeada a través de toda la línea para enjuagarla; esta agua llega a piletas y ya casi no lleva nada de sólidos.

Volumen de las tinas

Para cada tina se calculó el volumen máximo y el volumen normal.

El volumen máximo está calculado tomando en cuenta que no está a desnivel, esto es, que si la tina estuviera al ras del piso, se obtendría su capacidad máxima.

El volumen normal es el que utilizan los operadores cuando dicen que llenan una tina (tabla 3.9).

• Tabla 3.9 Volumen de las tinas

TINA	CAPACIDAD MÁXIMA (Litros)	CAPACIDAD NORMAL (Litros)
1	831.3	752.1
2	822.2	696.9
3	991.9	845.2
4	997.3	899.0
5	1024.9	863.2

Limpieza de las tinas

Normalmente se hace limpieza a las tinas cuando se terminó de realizar una corrida de un mismo producto, esto es, al término del último lote. Se está implementando la recuperación de aguas blancas, por lo que al primer enjuague de la tina que son unos 200 litros, lo mandan a los distribuidores. Los distribuidores son pequeños tanques de almacenamiento donde se recolectan las diferentes aguas blancas que se obtienen de las limpiezas y con dicha agua se ajustan los sólidos de los productos en los tanques de ajuste.

Una vez terminada la transferencia hacia los distribuidores proceden a la limpieza de la tina la cual la realizan llenando la tina hasta su capacidad normal, como lo muestra la tabla 3.9. Luego el agua es pasada a través de la línea para enjuagarla y al final se va a piletas donde es tratada toda esta agua. El agua empleada para la limpieza es agua cruda.

Cálculo de volumen de líneas

Después de que se termina de pasar un lote a los tanques a granel o de envasar una pipa desde las tinas, a veces se mete el limpiador a las líneas y otras veces solamente se enjuagan con agua. La tubería desde las tinas hasta los tanques a granel es larga y no se tenían diagramas isométricos; a pesar de que las bombas Wilden TM funcionan con aire y empujan lo más que pueden el producto, es posible que al término de un lote envasado todavía quede producto en la línea por lo que se hizo un levantamiento de esa tubería, calculándose el volumen de dicha tubería (se realizaron los diagramas isométricos correspondientes para que el departamento de ingeniería realice sus actualizaciones correspondientes).

Para el cálculo del volumen se consideró como si fuera un cilindro y se utilizó la fórmula de volumen de un cilindro:

$$V = \frac{\pi(D \times 0.0254)^2(L)(1000)}{4} [=] \ell \quad \text{Ecuación 3.1}$$

donde "D" está en pulgadas, "L" en metros y el volumen en litros.

Estas líneas están localizadas en la zona de distribución a granel y los datos calculados se presentan en la tabla 3.10.

La línea 2 se llama "línea de claros" y se le calcularon dos volúmenes diferentes, uno de 111.7 litros y otro de 114.6 litros. Estos dos volúmenes distintos son debidos a que son dos líneas, una desde los distribuidores de granel y otro desde una tina.

La línea 4 que se llama "línea de emulsiones" también tiene dos volúmenes distintos, 116.6 litros y 113.72 litros.

• Tabla 3.10 Capacidad de las líneas con base en diagramas isométricos

No.	Capacidad (litros)
1	249.2
2	316.8 *
3	193.7
4	300.7 *
5	301.3

* Las líneas 2 y 4 tienen un injerto de tubería para poder envasar en tambores

Lavado de la línea de emulsiones del reactor B

Una vez terminado de envasar por la línea que tiene un volumen de 116.6 litros, se llenó la tina hasta una capacidad de 740 litros. Posteriormente, se colocó un tambor al final de la línea y se bombearon 130 litros para ser recolectados. Se etiquetó el tambor y se mandó una muestra para analizar los sólidos; de igual manera se colocó un segundo tambor con 107 litros y el resto de agua se fue por el drene (503 litros).

Inventario de tambores

Se hizo un inventario de tambores de aguas blancas detectando de qué tipo de agua era cada tambor. Esto se hace con el fin de avisarles a los operadores de los reactores, que cuando ajusten sólidos, lo hagan con el agua de los tambores y después con la de los distribuidores, evitando así la acumulación de tambores.

Agua D.I. sin medir

Se siguió el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) de agua D.I. medida y sin medir, y se buscó cuáles eran las descargas de agua D.I. sin medir, encontrándose que siempre eran las mangueras con las que enjuagan los reactores y cubetas. Todas las salidas de las tuberías de agua D.I. sin medir, son de 0.0254 m (1") de diámetro y, al final, tienen una reducción de 0.0127 m (1/2"). Se hicieron pruebas para ver la cantidad de agua que sale, cada vez que ponen en funcionamiento el "timer", siendo ésta de 50

litros en un minuto, que es lo que dura el "timer", por lo que, con solo tomar el tiempo o el número de veces que ponen en funcionamiento el "timer" se puede calcular la cantidad de agua que ocupan en las diferentes descargas.

Volumen de chaquetas y serpentines

Las chaquetas de los reactores C y D la drenan entre lote y lote. Debido a ello se pidieron los planos de los reactores para calcular el volumen ocupado por las chaquetas, lo cual se muestra en la tabla 3.11.

• Tabla 3.11 Volumen de chaquetas y serpentines

REACTOR	Volumen (m ³)
RxD	2.03
RxC	1.74
*RxB	0.59
*RxA	0.44

* No son chaquetas, son serpentines

Control de aguas blancas

Se elaboró un control para la aguas blancas que se obtienen de lavado de tinajas y de la zona de pipas. Este formato sirve para que los operarios registren la cantidad de agua que recuperaron hacia los distribuidores, normalmente se maneja 200 litros de agua para el primer enjuague donde se obtienen las aguas blancas.

3.2 Balance del sistema

Una vez que se conoce cómo hacen las descargas de agua los diferentes operarios dentro de la planta, se procede a ensamblar el sistema y ponerlo en un pequeño diagrama, añadiéndole los números correspondientes al balance para el mes de abril, el cual se llamará mes en estudio. Para el desarrollo de esta parte un punto principal es que el sistema se realizó diariamente en un turno. En la planta existen tres turnos, el primer turno que es en el cual se estuvo trabajando, es el que dio la pauta para poder predecir los siguientes turnos, esto es, se tomaron datos durante el primer

turno de trabajo, con esos datos, se supusieron, que los otros dos turnos también ocupaban las mismas cantidades para sus limpiezas. Se realizó un balance con base en el primer turno, durante un mes, pero como todos los reportes de la planta son cantidades totales al mes, se realizó el balance para el mes de abril poniendo los datos de los tres turnos de trabajo.

3.2.1 Objetivo

El objetivo de esto fue balancear el sistema y poderlo ver gráficamente para conocer los lugares donde se debe de poner mayor énfasis en las acciones correctivas a seguir para la minimización de generación de aguas residuales.

Para llevar a cabo el balance, se dividió en tres secciones pero, en realidad, existe un solo balance general. Los balances parciales en que se divide son los siguientes:

- ✧ Zona de generación de agua D.I.
- ✧ Zona de refrigeración
- ✧ Planta de emulsiones acrílicas en general

3.2.2 Zona de generación de agua D.I.

El sistema de generación de agua desionizada cuenta con dos torres aniónicas y otras dos catiónicas, y un tanque de almacenamiento de 12.6 m³ de capacidad.

Por el medidor entraron 2273 m³ de agua cruda para el mes de abril y toda el agua cruda que entra es transformada en agua D.I. De los 2273 m³ que entran, 388.5 m³ son desperdiciados por las regeneraciones de las torres, ya que se utiliza agua cruda para la regeneración de la resina que utilizan las torres. Las unidades catiónicas tienen una capacidad de 117.3 m³ (31,000 galones) y las unidades aniónicas de 344.5 m³ (91,000 galones), una vez que agotan su capacidad tienen que regenerarlas, o sea, que está perfectamente determinado el tiempo de regeneración entre una y otra unidad.

Para conocer la cantidad de agua cruda con la que regeneran la resina de las unidades catiónicas, se revisó la bitácora de regeneraciones en donde se tiene anotada la lectura del medidor volumétrico de agua al comenzar la regeneración y al finalizar. Con una simple resta se puede conocer la cantidad de agua que se ocupó, siendo ésta siempre de 12.5 m³ (3300 galones). Para el caso de las unidades aniónicas, al regenerar el agua no pasa por el medidor volumétrico, por lo que no se puede tomar lectura directa. El agua pasa a través de un medidor de flujo, la regeneración la realizan en varios pasos y tienen medido el tiempo de cada paso, por lo que, con esos datos se puede conocer la cantidad de agua que se utiliza para la regeneración de las unidades aniónicas, esto se puede ver en la tabla 3.12.

• Tabla 3.12 Cantidad de agua utilizada para el lavado de las unidades aniónicas

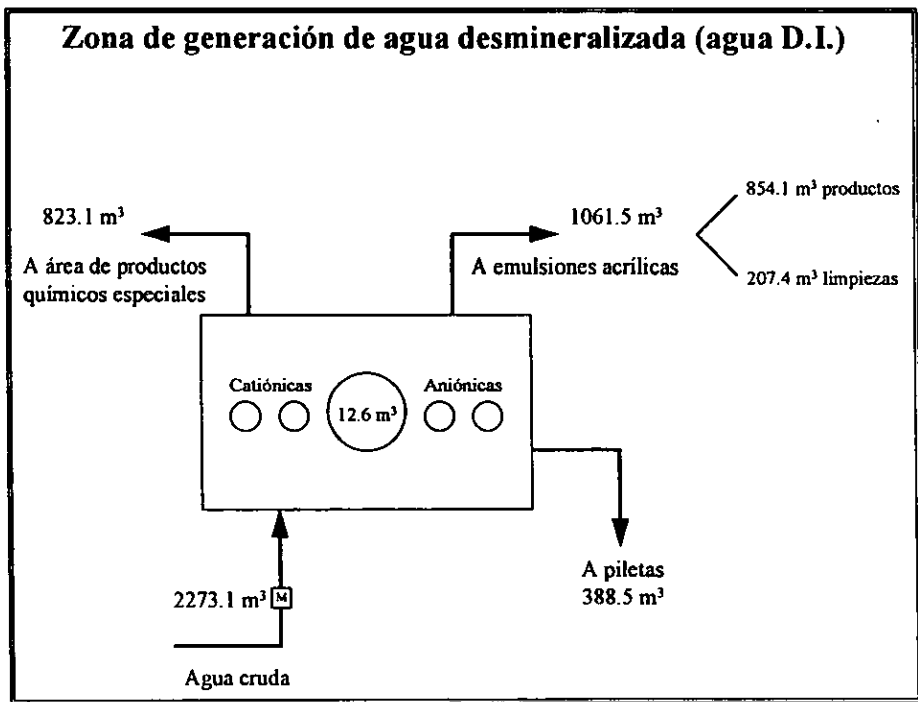
Pasos	Tiempo (min)	Flujo		Volumen	
		m ³ /min	Gal/min	m ³	Galones
1	30	0.11	30	3.43	900
2	45	0.27	70	11.93	3150
3	40	0.27	70	10.62	2800
4	20	0.27	70	5.24	1400
5	35	0.11	30	3.98	1050
Total				35.20	9300

Con esto se conoce que para la regeneración de la resina de las unidades aniónicas ocupan 35.2 m³ (9300 galones). Esta agua se va directamente a las piletas de tratamiento, es agua limpia, pero al juntarse con las aguas blancas que vienen de emulsiones acrílicas se contamina y a las piletas todas las aguas que llegan son blancas.

Con ayuda del sistema de control distribuido con el que cuenta la planta de emulsiones acrílicas, con base en los medidores de flujo que registran las computadoras es posible conocer la cantidad de agua que se utiliza en emulsiones acrílicas y la cantidad de agua que es usada en el área de productos químicos especiales. Con esto se conoce que 823 m³ son para el área de productos químicos especiales y 1061.5 m³ para emulsiones acrílicas como se puede observar en la Fig 3.1.

La cantidad de agua que es para la planta de emulsiones acrílicas (1061.5 m^3) se utiliza en dos aspectos, uno de ellos es para los productos que se fabrican en la planta y otro es para las limpiezas de los reactores o para limpiezas de los tanques de ajuste. Para conocer la cantidad de agua que utilizan los productos, se desarrolló una tabla, en la cual se pone el producto, reactor y la cantidad de agua que necesita ese producto. Esos datos se obtuvieron de los procedimientos de cada producto, los cuales son documentos confidenciales; conociendo el número de lotes que se fabricaron en cada reactor y los productos que se realizaron podemos conocer la cantidad de agua que utilizaron para los productos durante el mes en estudio, la suma de la cantidad de agua que ocuparon para los productos fue de 854.1 m^3 de agua, por lo que necesariamente la cantidad restante, 207.4 m^3 , se utilizó en limpiezas y, por lo tanto, tuvieron que llegar a piletas para su tratamiento posterior.

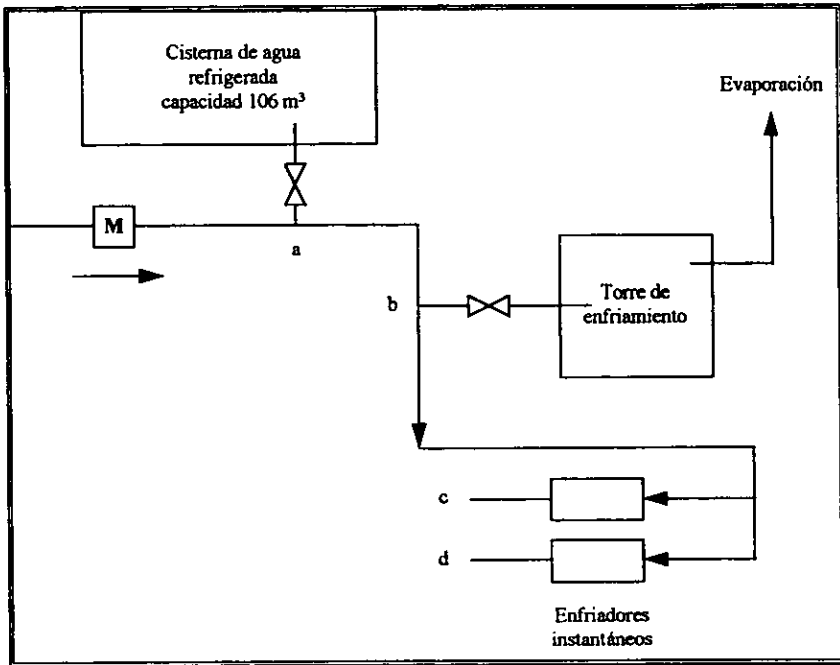
Figura 3. 1 Balance del sistema de generación de agua desmineralizada



3.2.3 Zona de refrigeración

El medidor que registra la cantidad de agua cruda para regenerar el nivel de la cisterna de agua refrigerada, tiene una lectura promedio de 50 m^3 por día, por lo que se siguió la línea para ver por dónde se perdía dicha cantidad. La Fig. 3.2 muestra como está distribuido el ramal de agua cruda.

• Figura 3.2 Balance del sistema de agua refrigerada



El medidor registra el agua que se repone a la cisterna cuando el nivel de ésta es bajo, válvula (a). También se está restableciendo el nivel de la piletta de la torre de enfriamiento, válvula (b). Cuando la torre está en funcionamiento, también se tiene una purga constante de los dos enfriadores instantáneos (c) y (d). Debido a que son las únicas salidas se realizó la siguiente medición:

Con las válvulas (a) y (b) cerradas, se midió el flujo del medidor:

$$3761.958 \text{ m}^3/\text{h} - 3761.930 \text{ m}^3/\text{h} = 0.028 \text{ m}^3/\text{h} = 28 \text{ L}/\text{min}$$

también se midió el flujo en las purgas constantes, poniendo un recipiente de 485 mL y tomando el tiempo. Se hizo esta medición cinco veces para cada tubo. Los datos de las purgas fueron de 2.53 L/min (d) y de 4.10 L/min (c) lo que da una suma de 6.63 L/min.

De esto se concluye que los restantes 21.37 L/min se pierden por evaporación.

Se realizó una segunda medición de la siguiente manera:

válvula (a) cerrada y la válvula (b) abierta.

Se tomaron flujos cinco veces en cada válvula, dando los siguientes datos:

Lectura del medidor 38 L/min

(b) 10.13 L/min

(c) 4.22 L/min

(d) 1.89 L/min

Lo cual indica que la suma de las válvulas es de 16.24 L/min y por lo tanto hay una pérdida por evaporación de 21.76 L/min.

Con base en las lecturas diarias tomadas en el medidor de agua de la cisterna (ver Tabla A-1 en apéndice A), viendo que día era el que más se desviaba de lo normal se puede ver qué cantidad de agua se tira cuando se les olvida cerrar algunas de las recirculaciones de las chaquetas o por algún lugar se les olvida cerrar alguna válvula (ver Fig. A-2 en apéndice A).

3.2.4. Balance en planta de emulsiones acrílicas

Para desarrollar el balance general de la planta de emulsiones acrílicas, se observó que la mejor manera de realizar el balance, es día a día, ya que se intentó realizarlo en un mes, pero al tratar de ponerle números al balance, no cuadraba, ya que

existía una acumulación alrededor de 2,000 m³, lo cual es imposible ya que toda el agua llega a piletas y no hay acumulación dentro de la planta, con excepción del agua que se utiliza para la manufactura de los productos, por lo que se decidió realizar el balance día a día para tener un control más exacto de lo que sucede dentro de la planta. Cada vez que llegaba agua a las piletas se tiene que ver de dónde procede y se tiene que ver qué cantidad están tirando y que cantidad está llegando a las piletas. Para poder realizar todo esto se estableció un formato (Fig. 3.3).

Figura 3. 3 Formato para balance diario en la planta de emulsiones acrílicas

FECHA: _____

MEDIDORES

Hora	Medidor agua RxE (m ³)	Agua de la cisterna (m ³)	Agua D.I. (m ³)	Catiónica		Aniónica	
				1 (gal)	2 (gal)	1 (gal)	2 (gal)

Actividades del día

Producción del día

RxA	RxB	RxC	RxD	RxE

Notas:

Balance:

Agua medida en la planta Agua D.I. + _____ Agua cruda + _____ Total + _____ m ³	Cantidad de agua que llegó a piletas: Medidor de agua D.I. : _____ Agua D.I. en productos de E.A. : _____ Total de agua D.I. usada en E.A. : _____ Total de agua usada en E.A. : _____ Total de agua usada en Q.E. : _____
--	---

La forma de llenado de dicho formato es la siguiente:

Medidor agua RxE. Este medidor cuantifica la cantidad que se alimenta al RxE, al que se alimenta agua cruda. Esta agua se va directamente al drenaje, esto es, no pasa por las

piletas, por lo que la medición que registra es la cantidad de agua que se está tirando; es agua limpia.

Agua de la cisterna. Es la línea de recuperación de agua a la cisterna, también alimenta la torre de enfriamiento del sistema de agua refrigerada.

Agua D.I. es agua cruda que entra a los unidades de regeneración para salir como agua desionizada.

Los medidores aniónicos y catiónicos son los que se encuentran en las unidades de regeneración y se registran en galones. Con estos medidores se puede saber la cantidad de agua que utilizan para la regeneración de las unidades.

Actividades del día. Son las limpiezas realizadas en la planta, se veía por medio del alcantarillado, si corría el agua y cuando sucedía se buscaba de dónde era la limpieza y se anotaba la cantidad aproximada de agua que estaban usando para dicha limpieza. Al final del día se sumaron todas las actividades de limpieza dentro de la planta de emulsiones acrílicas y con eso se obtuvo el dato de la cantidad de agua cruda medida en la planta. Este dato se comparó con la cantidad de agua que llegó a las piletas. Para hacer la medición del agua que llegó a las piletas se utilizó la forma de la Fig. 3.4 donde, con base en las medidas de las piletas, es posible saber el volumen que hay a una altura determinada y al final del día, se puede saber cuánta agua llegó a las piletas procedente de la planta de emulsiones acrílicas y compararlo con el valor obtenido medido en la planta.

Producción del día. Se llevó un registro de los productos que se estaban haciendo y de los que se iban a hacer durante el día. Como los productos llevan agua desionizada, es necesario saber qué productos se hicieron y la cantidad de agua que lleva cada producto. Para ello se elaboró una tabla donde se muestra el producto, el reactor donde se hace y la cantidad de agua desionizada que necesita. Con este dato se determina el agua D.I. empleada para los productos de la planta de emulsiones acrílicas.

En un total de 9.75 horas desviaron 138 m³, lo que indica que 14 m³/h es desviada y cada tratamiento de P.Q.E. lleva alrededor de 15 min más una hora de bombeo, o sea, que por cada tratamiento de P.Q.E. desvían 17.5 m³ a E.A. y, en el mes en estudio, se realizaron 80 tratamientos en P.Q.E. Esto indica que 1400 m³ fueron desviados del área de productos químicos especiales hacia las piletas de emulsiones acrílicas.

Balance en planta

Balance de agua en los reactores

Conociendo el orden en que se realizaron los productos durante el mes y viendo qué tipo de limpieza aplicaban los operarios entre lote y lote, haciendo una lista por cada reactor se puede obtener la cantidad de agua que utilizó cada reactor en un mes para sus limpiezas (tabla 3.13).

Los valores teóricos, se obtienen de los procedimientos de limpieza. Una vez que se conocen los productos que se realizaron y el orden en que los hicieron, los procedimientos de limpieza indican la cantidad de agua, así como el tiempo aproximado de la limpieza. Con ello, si se hubieran seguido los procedimientos al pie de la letra, se habría tenido una descarga por todos los reactores de 185.61 m³. Para conocer los valores reales, con base en las tablas del punto 3.1.2 "Cantidad de agua real que utiliza por cada tipo de limpieza", debido a que cada operador lo hace distinto, emplean una mayor cantidad de agua. Además, se realizaron otras limpiezas diferentes a las que el procedimiento indicaba que se realizaran, debido a que los operarios por su experiencia, determinan cuándo y qué tipo de limpieza debe realizarse para que no contamine al siguiente producto que se va a producir. Es por esto que la cantidad real es casi del doble de lo que teóricamente se esperaba.

Los números que se presentan en la Fig. A-1 (apéndice A) están basados en la tabla 3.13, que son los valores reales obtenidos para el mes de abril para las limpiezas de los reactores.

Balance en zonas de la planta

A continuación se representan en la Fig. A-1 (apéndice A) las cantidades de agua que se descargan en la zona de la planta y llegan a las piletas por las diferentes partes. Enseguida se describe la cantidad de agua y como se obtienen los números que se presentan en la Fig. A-1 (apéndice A). Se encuentran ordenados de mayor cantidad de descarga a menor.

• Tabla 3.13 Comparación de las cantidades de agua necesaria para las limpiezas de los reactores

<i>tinas en estudio</i>				
Teórico				
Tipo de agua	RxC m ³	RxB m ³	RxA m ³	Total m ³
D.I.	20.20	24.40	42.00	86.60
Cruda	8.52	28.40	56.09	93.01
Aditivo 1	---	---	6.00	6.00
Total	28.72	52.80	104.09	185.61
Real				
Tipo de agua	RxC m ³	RxB m ³	RxA m ³	Total m ³
D.I.	30.50	69.80	94.50	194.80
Cruda	59.59	53.51	72.84	185.94
Aditivo 1	---	10.00	18.00	28.00
Total	90.09	133.31	185.34	408.74

Manguera de tinas

Esta manguera la utilizan para lavar las tinas, aproximadamente es un promedio de una tina por turno, con esta manguera también lavan el piso diariamente y además enjuagan tambores. También cuando lavan accesorios del reactor B tiran aproximadamente 700 litros. Esto lo hacen 3 veces al mes. Cuando lavan los recipientes de almacenamiento con capacidad de 1 m³ (llamados IBC's) usan 600 litros cada uno y cuando lavan el piso gastan aproximadamente 700 litros y 340 litros en otros enjuagues.

Según el libro "control" de aguas blancas se lavaron 23 tinas en el mes. Cada vez que lavan una tina lo hacen tirando una cantidad de agua equivalente al volumen

de la tina. En la tabla 3.14 se puede observar la capacidad de cada tina, la capacidad normal se refiere a la cantidad de agua con la cual lavan la tina.

• Tabla 3.14 Cantidad de agua ocupada para la limpieza de las tinas

TINA	CAPACIDAD MÁXIMA (Litros)	CAPACIDAD NORMAL (Litros)	NÚMERO DE VECES LAVADA EN UN MES
Tina 1	831.3	752.1	2
Tina 2	822.2	696.9	8
Tina 3	991.9	845.2	5
Tina 4	997.3	899.0	8
Tina 5 ¹	1024.9	863.2	

¹La tina 5 se emplea para envasado por lo que no la lavan con la manguera de las tinas, sino que se tomará en cuenta para la zona de envasado

Es un total de 18.5 m³ por lavado de tinas, 6 m³ de lavado de IBC's, 2.1 por lavado de accesorios del reactor, de pisos son 81 m³ y 10.2 m³ de enjuagues. Esto da un total de 117.9 m³ que se tiran por esa manguera, en diversos lavados y enjuagues.

Drene de la chaqueta del reactor C

Esta chaqueta se drena entre lote y lote debido a que cuando cargan agua caliente al reactor para iniciar un nuevo lote y como tiene agua fría la chaqueta, el agua caliente que cargan no llega a la temperatura que ellos desean y tienen que desechar esta agua y volver a programar más. Se hicieron 63 lotes en el mes y la chaqueta tiene una capacidad de 1.75 m³ de agua refrigerada, por lo tanto se tiran 110.25 m³ durante el mes en estudio.

Lavado de frascos

Esta es una manguera con la cual enjuagan entre otras cosas, frascos para muestras, guantes, delantales, etc, pero es una cantidad enorme de agua la que descargan, ya que casi todo el día se encuentra abierta esta llave. Se tiran 3 m³ diarios en esta manguera, lo que indica que mensualmente se descargan 90 m³.

Pipas de piletas

Se lavan dos pipas al mes por turno, o sea, 6 pipas al mes. Lavan también pipas externas. Cada pipa la vaporizan 3 horas y luego las lavan durante 3 horas, con la manguera de piletas (la manguera permanece abierta durante toda la limpieza). De la manguera salen 50 litros por minuto y si son 3 horas entonces son 9000 litros, más la vaporización. Se considera que por cada pipa son 10 m³ y si son 6 al mes entonces son 60 m³.

Zona de pipas

Durante un mes llegaron 91 pipas, de las cuales 22 fueron de P.Q.E., 69 de E.A., de esas 69 pipas 31 eran externas y 38 de Rohm and Haas, cada vez que envasan una pipa, tienen que enjuagar la línea, y para ello emplean 860 litros de agua, por lo que en esta zona se tiran 59.34 m³. Aquí se consideran los 860 litros de agua de la tina 5, que no se tomó en cuenta, para la manguera de limpieza de tinas.

Compartimiento de pipas

Por cada lavado de compartimiento, tiran 300 litros de agua.

Llegaron 91 pipas, de las cuales se lavaron un total de 124 compartimientos, cada pipa tiene tres compartimientos, pero no siempre se envasan todos y no siempre se lavan todos, entonces sí son 124 compartimientos, esto es 37.2 m³.

Drene de la chaqueta del reactor E

El reactor E se dreña entre lote y lote, por lo que tira 2.5 m³ por drene, este mes se hicieron 12 lotes, lo que son 30 m³.

Distribuidores

Una vez que se manda agua a los distribuidores se enjuaga la línea, con 740 litros, con base en el libro de control de aguas blancas que reportan los operarios, se mandaron 30 veces aguas blancas, lo que indica que se fueron por la línea de desagüe 22.2 m³ durante el mes.

Envasado a tambores

Se tiran 500 litros de agua para lavar las líneas, al término de cada lote envasado, en este mes se envasaron 15 lotes, y fueron 7.5 m³ en el mes.

Zona de granel

Se lavan 3 tanques a granel en un mes y como simplemente es un enjuague, ya que es raro que se cambie de producto, emplean para su limpieza 1 m³, o sea, que son 3 m³ los que utilizan para lavar los tanques a granel.

Manguera extra

Casi no la utilizan, pero la usan para lavar algunos tanques y el piso del segundo nivel, lo que indica que aproximadamente ocupan 3 m³, durante el mes.

Realizando la suma total de todos los lugares mencionados se obtienen los datos de la tabla 3.15.

• Tabla 3.15 Cantidad de agua medida dentro de la planta

Lugar	Cantidad m ³
Limpieza de reactores	408.74
Zonas de la planta	540.3
Regeneración de agua D.I.	388.5
Total	1337.54

El número que se tenía que alcanzar para el mes en estudio es de 1,378.5 m³ y se llegó a 1,330.14 m³ lo cual representa un 97.03 %, por lo que puede considerarse que prácticamente se logró el objetivo de conocer la cantidad de agua que salía de la planta de emulsiones acrílicas y de donde provenía dicha agua.

Se hicieron mediciones en las piletas para tomar esa información como punto de referencia. Estos datos, llenados en las formas diarias dan el número 1,378.5 m³.

Una vez completada la recolección de datos y mediciones, se procede a analizarlos y a realizar las comparaciones pertinentes para obtener los resultados. Estos se presentan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO CUARTO

4. RESULTADOS

Este trabajo, que actualmente se está implementando dentro de la planta, integra a mucha gente que colabora, en especial a los operarios. Muchos de los datos que se obtienen en las tablas de resultados, son obtenidos de cálculos realizados con datos confidenciales de la planta; la mayoría tiene que ver con los productos que se manufacturan. Se generó bastante información aplicable solamente a la planta, la cual es confidencial y quedó asentada en el reporte realizado para la planta.

4.1 Balance general de la planta

Como resultado principal, se muestra la Fig. A-1 (apéndice A) (diagrama con el balance para el mes en estudio), donde se ven las cantidades de descarga por los diferentes lugares de la planta de emulsiones acrílicas.

Se estableció un grupo de trabajo para darle seguimiento al proyecto de minimización de aguas en la planta de emulsiones acrílicas, dicho grupo se organizó con operarios, dándoles a su vez grupos pequeños de trabajo en diferentes áreas de la planta, con el fin de tener un control y difusión del proyecto.

Para meses anteriores se tenía reportado en piletas de tratamiento que emulsiones acrílicas descargaba 5,000 m³ por mes, mientras que actualmente el reporte de ecología es de 3,500 m³ por mes. Lo que ayuda bastante es la recuperación de las aguas blancas al llevarlas a los distribuidores y después utilizarlas en el ajuste de sólidos de los productos; mes con mes ha ido aumentando la cantidad de agua que se reutiliza, esto ayuda a que cada mes se disminuya la cantidad de agua que llega a piletas de tratamiento. Se están recuperando entre 10 y 15 toneladas de agua blanca mensualmente, el objetivo que se estableció para este año de trabajo en la planta, fue de 10 toneladas por mes. Por medio de los procedimientos y de los modelos de producción es posible conocer a *grosso modo* los productos que se realizarán y, con base en esa información puede conocerse la cantidad de agua blanca recuperable, observando que es posible recuperar hasta 30 toneladas por mes. El principal apoyo para la minimización ha sido la colaboración de todos los operarios, que poco a poco han ido

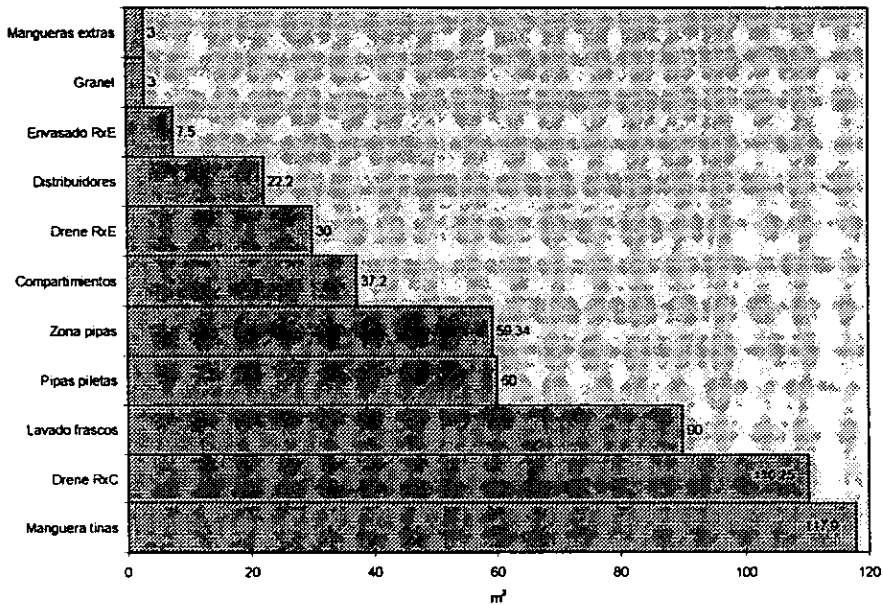
disminuyendo la cantidad de agua que utilizan en sus limpiezas. También cabe destacar que el reporte de ecología de piletas, se basaba en cantidades irreales, ya que reportaban un volumen mayor al que realmente tiene la pileta. Al medir las piletas se observa que la cantidad que reportaban era un 15% mayor a la real.

Los datos obtenidos del "Balance en zona de planta", se muestran en el gráfico 4.1 donde se pueden observar los puntos donde es necesario tomar acciones correctivas inmediatas. Para ello se organizó una junta con los operarios del grupo de apoyo del proyecto de minimización de agua, con la siguiente agenda de trabajo:

Puntos tratados:

- ⇒ Objetivo. Identificar las acciones para la reducción de emisiones de agua y los puntos de generación en el área de emulsiones acrílicas.
- ⇒ Principales fuentes de generación. Presentación de los resultados obtenidos en el balance en zona de planta.
- ⇒ Datos de la encuesta. Se les dió el resultado de los cuestionarios aplicados a los operarios, mostrándoles la forma y las cantidades de agua que ocupaban para realizar sus limpiezas.
- ⇒ Uso del procedimiento de limpieza ISO 14001 EAC020 (procedimiento interno de la planta de limpieza para cada reactor). Se presentó con el fin de que todos los operarios sigan el procedimiento al pie de la letra y con ello poder corregir errores en el procedimiento, en caso de que se encuentre alguno.
- ⇒ Lluvia de ideas para la toma de acciones a seguir. Ideas de los propios operarios para contribución y para que ellos se encuentren conscientes de cómo tener una mejora continua para la minimización de aguas blancas en el área de emulsiones acrílicas.
- ⇒ Resumen. Para poner en orden todas las ideas y ver si se cumplió con el objetivo establecido.

• Gráfico 4.1 Balance en zonas de la planta en un mes



4.2 Tiempos de limpieza

Se obtuvieron datos de los tiempos de limpieza. Esto se hizo comparando los procedimientos de limpieza (donde se muestra el tiempo estimado de cada limpieza) y el tiempo real que ocupan para hacer la limpieza con base en el reporte de producción mensual, en el cual se consigna el tiempo muerto de producción y se especifica el tiempo requerido en las limpiezas por reactor.

Para conocer las horas teóricas, la base es la producción de un mes. Conociendo los productos que se manufacturaron y el orden y revisando el procedimiento de limpieza para saber los tipos teóricamente aplicados (ver Tablas A-2 y A-3 en el apéndice A) se calcularon los tiempos de limpieza teóricos. El primer mes se refiere al mes de marzo y el segundo mes a abril.

Al implementar los procedimientos de limpieza, se notó que se avanzaba más rápido con la producción. Esto es, que para el día martes, se había terminado con la producción programada para el jueves. Se notó una gran mejoría en cuanto a los tiempos de limpieza. Además se está llevando un registro por operador para saber el tiempo de limpieza requerido por cada uno. Por el momento no se han encontrado fallas en los lotes en cuanto a contaminación se refiere. Esto indica que el procedimiento de limpieza está funcionando como se estableció desde un principio. El problema radicaba principalmente en que los operarios no seguían el procedimiento y que ellos elegían la limpieza a aplicar.

Como aspectos generales se encuentra que:

- a) Los operadores tomaban más tiempo del que establece el procedimiento de limpieza.
- b) Los operadores realizaban más limpiezas de las necesarias.

Las tablas 4.1 a 4.3 muestran la mejoría en cuanto a los tiempos de limpieza.

• Tabla 4.1 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor A

MES	Tiempo de limpieza (h)	Número de lotes	Factor (h/lote)
Marzo	95.5	79	1.21
Abril	61	70	0.87
Mayo	71	79	0.89
Junio	68	82	0.83
Mejora			0.38

• Tabla 4.2 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor B

MES	Tiempo de limpieza (h)	Número de lotes	Factor (h/lote)
Marzo	90.5	59	1.53
Abril	149	50	2.98
Mayo	52.5	80	0.65
Junio	41	50	0.82
Mejora			0.71

• Tabla 4.3 Mejoría de tiempo de limpieza en el reactor C

MES	Tiempo de limpieza (h)	Número de lotes	Factor (h/lote)
Marzo	67	67	1.00
Abril	64	62	1.03
Mayo	51.5	66	0.78
Junio	33.6	53	0.63
Mejora			0.37

Resumiendo la información se tiene la tabla 4.4.

• Tabla 4.4 Tiempo de reducción por limpiezas que puede ser empleado para producción

	RxA	RxB	RxC
Promedio de lotes	77	60	62
Reducción por limpieza (h/mes)	29.3	42.6	22.9
Capacidad adicional (ton/año)	*585	*340	*205

* Estos valores son calculados a partir de datos de capacidad de los reactores y de los datos que se tienen para la producción de cada reactor anualmente

Lo anterior indica que, reduciendo los tiempos de limpieza, se puede aprovechar este tiempo para producción. Con ello se podría lograr una producción de 1,130 ton/año.

Conjuntamente con este proyecto se está trabajando en la disminución de tiempos de producción de los diferentes productos, lo cual ha llevado a un aprovechamiento de tiempo para producción de 1,287 ton/año. Esto indica que es posible que la planta tenga una capacidad adicional de 2,417 ton/año. La reducción de los tiempos de limpieza contribuye en un 46.8%.

Como resultado del trabajo realizado durante los últimos tres meses, la planta de Apizaco ha incrementado la capacidad por 1,553 ton/año. La planta produce normalmente 2,500 ton/mes, esto es, 30,000 ton/año. Con el incremento de los últimos tres meses, más lo que se incrementó en los tres primeros meses de lo que va del año, la planta ha elevado su producción a 2,700 ton/mes. La planta ha aumentado su capacidad en el primer semestre de 1997 en un 8%. Dicho trabajo ha cooperado casi con la mitad de ese aumento del 8%. Además, contribuye a que el costo del producto sea más bajo, como se explica en el siguiente capítulo.

4.3 Cantidad de agua descargada en chaquetas y serpentines

Se tomaron lecturas del medidor de flujo para el agua de la cisterna donde se almacena el agua refrigerada para las chaquetas y serpentines de los reactores. En el Apéndice A se muestran los valores de dicho medidor, y de otros medidores; con los datos del medidor para la cisterna se traza la línea, de la cantidad contra el tiempo, de este gráfico se puede conocer los días en que se les olvidó por algún motivo cerrar alguna válvula, dentro de la planta. Esto puede ocurrir en cualquiera de las dos áreas, tanto en la de productos químicos especiales como en la de emulsiones acrílicas. Es difícil conocer el momento exacto en que sucedió la descarga, pero se puede conocer la cantidad, como lo muestra el gráfico. Cuando acontece esto, el agua llega a las piletas. Cuando se trabaja el sistema de refrigeración de manera normal, no llega agua a las piletas, llegan directamente hasta la pileta de homogenización para después salir de la planta. Se puede decir que para este mes en estudio, el medidor registró un promedio de 50 m³ y que hubo ocasiones en que se notó una elevación debido a que hubo una fuga por algún lugar de la planta.

4.4 Comparación de reportes de cantidades en un mes

Se presentan en el gráfico 4.2, las cantidades medidas y reportadas en la planta.

En piletas se midió durante un mes por medio de sus alturas 1380 m³.

Dentro de la planta, se midieron de las diferentes zonas 1338 m³.

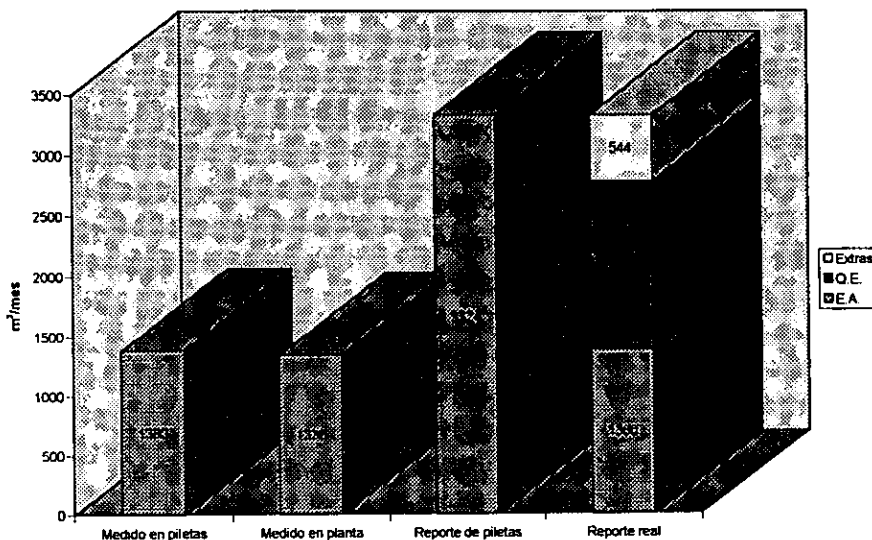
El reporte de las piletas de tratamiento fue de 3324 m³.

El reporte real de como se obtuvieron los 3324 m³ de piletas está dividido en tres partes:

- ◊ 1380 m³ que llegaron de la planta de emulsiones acrílicas
- ◊ 1400 m³ que son desviados de las plantas de productos químicos especiales a la de emulsiones acrílicas

- ◊ 544 m³ extras, que son principalmente de lluvia, lavados que realizan en piletas y partes que no se pudieron contabilizar

Gráfico 4.2 Comparación de reportes de cantidades en un mes



4.5 Balance global de la planta de emulsiones acrílicas

El balance global de la planta de emulsiones acrílicas es uno de los objetivos para el cual se desarrolló este trabajo, este balance es muy importante para la planta ya que la cantidad de agua blanca que llega a piletas de tratamiento está relacionado con el costo del tratamiento. A menor descarga de agua blanca se reduce el costo.

La tabla 4.5 muestra la manera como quedó el balance de la planta de emulsiones acrílicas.

• Tabla 4.5 Balance global de la planta de emulsiones acrílicas

Lugar	Cantidad (m ³)
Medido en Planta:	
Agua de regeneración de agua D.I.	388.5
Agua D.I. en reactores	194.8
Agua cruda en reactores	185.9
Sosa en los reactores	28.0
Manguera de lavado de tinas	117.9
Drene de la chaqueta del reactor C	110.2
Manguera de lavado de frascos	90.0
Lavado de pipas en las piletas	60.0
Zona de pipas (limpiezas)	59.3
Lavado de compartimientos de pipas	37.2
Drene de la chaqueta del reactor E	30.0
Lavado de líneas de distribuidores	22.2
Lavado de líneas de envasado del RxE	7.5
Lavado de tanques a granel	3.0
Mangueras extras	3.0
Total	1338
Medido en piletas	
Total	1380
Reporte de piletas	
Total	3324
Reporte real	
Agua de emulsiones acrílicas	1380
Agua desviada de P.Q.E. a E.A.	1400
Lluvia, lavados en piletas, extras	544
Total	3324

Una vez con estos resultados y analizando los puntos en los que puede reducirse en gran parte la cantidad de agua de descarga, se estableció una meta real y alcanzable reduciendo las descargas en un 30% para las limpiezas en la zona de planta. Con ello, pueden establecerse metas aún más ambiciosas e ir reduciendo poco a poco hasta llegar a una planta ideal. Se comprobó que la descarga de las mangueras sin chiflón era de 200 kg por minuto, mientras que con chiflón es de 50 kg por minuto, esto es un ahorro de agua en un 75%. Actualmente hay algunas mangueras con chiflón, pero es necesario que a las que no lo tienen se les instale.

La tabla 4.6 muestra la cantidad a la que se espera llegar, junto con el porcentaje de reducción.

• Tabla 4. 6 Minimización para alcanzar la meta

ZONA DE LA PLANTA	SISTEMA ACTUAL (m ³ /mes)	SISTEMA PARA META (m ³ /mes)	REDUCCIÓN EN %
Manguera tinas	117.9	82.53	30
Drene reactor C	110.25	110.25	0
Lavado frascos	90	63	30
Pipas de piletas	60	42	30
Zona de pipas	59.34	41.54	30
Compartimientos pipas	37.2	26.04	30
Drene reactor E	30	30	0
Distribuidores	22.2	8.88	60
Envasado tambores	7.5	6	20
Zona de granel	3	3	0
Manguera extra	3	3	0
Total	540.39	416.24	22.97

Puede observarse que no hay reducción para las mangueras extras; esto es porque éstas ya tienen instalado el chiflón; en cambio, para las mangueras de lavado de tinas, se tiene que instalar un chiflón para que, con ello, se pueda ahorrar más del 30% que se propone, pero es necesario hacer mediciones.

Para conocer la cantidad de agua descargada para la zona de los reactores se realizó un promedio de los meses de los que se tienen datos de cantidades reales y teóricas, quedando la tabla 4.7.

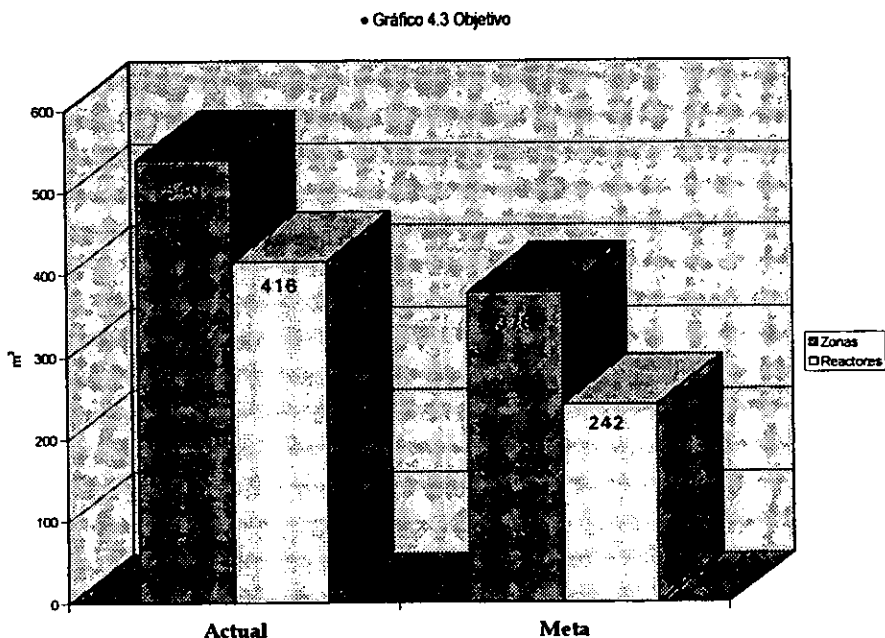
• Tabla 4.7 Comparación de cantidades reales y teóricas para los reactores

Mes	Cantidad teórica (m ³)	Cantidad real (m ³)
Primer mes	298.4	359.5
Segundo mes	185.6	408.7

De este cuadro se obtiene el valor al que se desea alcanzar para las limpiezas en los reactores. Dado que no se conoce toda la producción del mes siguiente, no se puede

establecer un número fijo, pero para tener idea de la cantidad de agua teórica necesaria para las limpiezas en los reactores, se hace un simple promedio de las cantidades teóricas que se tienen de los meses anteriores. Con ello se obtiene que la cantidad meta para alcanzar es de 242 m³.

Esto se puede observar en el gráfico 4.3.



Con base en los resultados se puede tener una idea de cómo se encuentra la planta de emulsiones acrílicas y el balance de agua de la misma. Por lo tanto, se puede dar paso a las conclusiones y recomendaciones presentadas en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO QUINTO

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conclusión final es que se cumplieron los objetivos establecidos. Es posible hacer un balance de agua para la planta de emulsiones acrílicas y esto no es solamente un servicio externo de la planta, ya que se deben conocer los productos que se hacen, el porcentaje de sólidos de cada uno de los productos, la cantidad de agua que lleva cada producto, el tiempo que ocupan para la manufactura, los problemas que existen con los productos, ya que pudiera ser que tuvieran que ser transferidos a otro tanque o envasados en otro lugar. Esto conlleva a tener movimientos extras y, por consiguiente, más enjuagues y, lo más importante, las relaciones humanas con los operarios. Este trabajo en gran parte se debe a los operarios que han querido cooperar para tener una mejora continua dentro de la planta. Se les dejó marcada la política ambiental, sobre todo en el punto para la concientización de minimizar las emisiones de proceso al aire, agua, suelo y "eficientar" el uso de los recursos en el área de emulsiones acrílicas.

Rohm and Haas Company tiene un sistema de trabajo de estrecha relación con todas sus plantas en el mundo, y se comparan entre ellas para tener una superación continua. Se tiene un factor que relaciona la cantidad de agua blanca tratada en piletas, con la cantidad de producción. Con ello la mejor planta se encuentra con un factor de 0.5 kg de agua/kg de producto. Rohm and Haas México, Planta Apizaco, tenía un factor de 2.5 kg de agua/kg de producto. Con este trabajo se pudo identificar de donde provenía el agua y, al separar la cantidad de agua que agrega el área de productos químicos especiales a las piletas de emulsiones acrílicas el factor para el mes en estudio fue de 0.89 kg de agua/kg de producto, lo cual representa que hubo una mejora del 64.4%.

La labor no termina con este trabajo; todavía es necesario implementar nuevos sistemas para lograr un factor por debajo del 0.5 kg de agua/kg de producto y, con ello ser la mejor planta y reutilizar toda el agua para que sea la menor cantidad posible a tratar en piletas.

Las recomendaciones están divididas en dos partes; en una de ellas se presentan las ideas para la minimización y recolección de aguas blancas y de limpiezas que se trató en la junta con los operarios en el punto "lluvia de ideas para la toma de acciones a seguir" y la segunda parte son una serie de ideas propuestas en conjunto con los ingenieros de la planta, pensando a futuro la mejor forma para minimizar la descarga de agua.

Se muestra la lista de las opiniones e ideas de los operarios, para tener un mejor desempeño dentro de planta para la minimización de aguas blancas y de agua de enjuague que va a piletas. Se muestran sólo algunas de las ideas, ya que se trataron más puntos, pero tienen que ver con productos en especial y con condiciones de operación.

1. Instalar un chiflón a las mangueras.
2. Concientizar a la gente.
3. Lavar la línea en sentido inverso. Esto es, sujetando la línea a presión y luego abriendo del lado de la tina.
4. Quitar agua al proceso para que los productos salgan con un contenido de sólidos más alto y con el agua de enjuague que se les añade al final se puedan ajustar bien los sólidos, pudiendo aprovechar el agua de enjuague de los reactores.
5. Poner una línea de agua cruda para limpieza de los tanques
6. Poner líneas de recirculación al drene de las chaquetas de los reactores C y E.
7. Comprar escobillones para lavar los frascos.
8. Poner los frascos por familia para no tener que lavarlos todos.
9. Poner una lavadora de frascos.
10. Lavar los frascos en el laboratorio.

11. Agregar el agua blanca a tanque de granel.
12. Cambiar el diseño de las tinas para no acumular el producto o agua blanca.
13. Modificar la descarga de los reactores A y C, ya que se acumula producto en esa parte.
14. Calibrar la presión de los limpiadores de líneas.
15. Hacer las limpiezas de pisos con escoba y no con el chorro del agua.

Las ideas establecidas con los ingenieros de proceso para mejorar el sistema de minimización de aguas, se centralizó principalmente en las limpiezas a los reactores, ya sea cambiando el sistema del "heliojet", para que salga con una presión mayor. Esta implementación se debe realizar lo más pronto posible, pero se pretende que se eliminen las limpiezas de "heliojet" y las limpiezas químicas, añadiendo un sistema de espreas a los reactores. Con esto, al término de la reacción de un lote, empieza a funcionar el sistema de espreas descargando vapor. Con ello, ayuda a la transferencia del lote al tanque de ajuste y, a la vez, limpia las paredes del reactor. Inmediatamente después de la transferencia, se inicia el siguiente lote y no tendría que ser necesario destapar el reactor para hacerle limpieza. Se le haría limpieza después de varias corridas, pero ésta sería con mucho menor frecuencia de como se hace actualmente.

Una acción correctiva que se está implantando es la de seguir el procedimiento de limpieza al máximo. Con esto se reduce de un 30% a un 60% la cantidad de agua en los reactores y, sobre todo, se reduce el tiempo de limpieza y la producción se acelera.

Existe una pileta de homogenización donde se juntan todas los tipos de agua, la de enfriamiento y la de piletas de tratamiento. Antes de salir al municipio se paga para que traten el agua, pero en realidad no es necesario, ya que este sistema cuenta con aeración, donde se tiene un pequeño sistema aerobio. Solo es necesario implementar un nuevo sistema de aeración para que no se tape y separación de lodos y con ello esta agua se puede reutilizar para riego y para todos los requerimientos de la planta.

Como se puede observar, hay grandes ideas para la minimización, pero se tiene que ir de poco en poco, ya que esto es solo la idea, falta el alcance, la justificación, la evaluación y la aprobación. En un futuro es posible que sea muy poca la cantidad de agua que salga de la planta.

Es recomendable darle seguimiento a las propuestas para que se sigan todos los puntos y se analicen cada uno de ellos y se implementen cuando así convenga.

Si se llegan a implementar las ideas que se tienen para la limpieza de los reactores y reutilizan toda el agua que se tiene en la pileta de homogenización, la planta operará utilizando al máximo sus recursos y cumpliendo con las normas establecidas por la propia corporación, que son aún más estrictas que las del gobierno de México. Esta planta va por muy buen camino dándole importancia a las cuestiones ambientales. Actualmente es la primer planta en México que obtiene una certificación de carácter ambiental, la ISO 14001 en toda la planta.

Las metas propuestas se pueden alcanzar, se va avanzando poco a poco, pero siempre hacia adelante, así es como ha salido adelante Rohm and Haas, México, planta Apizaco.

TABLA A-3 TIEMPOS DE LIMPIEZA SEGUNDO MES

Segundo mes

Tipo de limpieza	Tipo de agua	RxC Kg	RxB Kg	RxA kg	Tiempo min	Tiempo horas
A	D.I.	250	250	250	15	0.25
E	Cruda	1420	1420	1420	20	0.33
H	D.I.	1800	1300	3000	60	1
B	D.I.	1800	1300	3000	60	1
	Cruda	1420	1420	2130		
S	D.I.	1800	1300	3000	360	6
	Cruda	1420	1420	1420		
C	D.I.		4000	6000		
	Cruda	---	1420	1420	720	12
	Aditivo		3000	6000		

Número de veces que se debió realizar este tipo de limpieza

Tipo	RxC	RxB	RxA
A	52	30	36
E	5	7	23
S	1	5	----
H	3	----	5
C	----	----	1
B	----	8	4
hervida	----	----	----

Horas teóricas

Tipo	RxC	RxB	RxA
A	13	9.75	1.5
E	1.67	2.33	7.67
S	6	30	----
H	3	----	5
C	----	----	12
B	----	8	4
hervida	----	----	----
Total	23.67	50.08	30.17

Tiempo	RxC	RxB	RxA
Teórico	23.67	50.08	30.17
Real	64	149	61

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Glosario de términos

Agua D.I. Significa agua desionizada o desmineralizada, es agua tratada en unas torres con resina de intercambio iónico, las cuales absorben los minerales que tiene el agua; esta agua se emplea en la manufactura de los productos.

Biodegradable. Material que es capaz de descomponerse (usualmente por microorganismos), a sus elementos básicos. La mayoría de los desechos orgánicos como la comida y el papel son biodegradables. Al proceso natural de descomposición de cosas hechas por el hombre o de compuestos naturales, hacia sus constituyentes elementales o compuestos, se le llama biodegradación (5,17).

Chiflón. Reductor a las salidas de las mangueras para aumentar la presión de descarga.

Escurrimiento. El volumen de agua proveniente de la nieve que se derrite o de la lluvia, sobre una superficie en la cual el agua no es permeable hacia el suelo (5,17).

Evapotranspiración. El agua que se evapora de las plantas.

Familia de productos. Productos asociados de acuerdo a los mismos reactivos o a las mismas propiedades.

Fitoplancton. Pequeñas plantas que flotan en mares, lagos y ríos, donde la luz del sol es suficiente para la fotosíntesis.

Frascos. Se refiere a pequeños recipientes que se utilizan para muestrear en los reactores y mandar al laboratorio para su análisis.

"Heliojet". Término en inglés para nombrar un sistema de limpieza de tanques que trabaja con elevada temperatura y presión; heliojet es el nombre de la marca de quien maneja estos sistemas de limpieza, es conocido en la industria con este nombre.

Limpiador de línea. Es un sistema a presión que barre toda la línea, no importando sus curvas, empujando todo su contenido hasta el final. En la industria se conoce como "pigging".

Pileta. Lugar donde se le hace tratamiento al agua.

Pipa. Comúnmente se conocen con ese nombre, pero son los carrotanque, que transportan material, normalmente son de tres compartimientos con capacidad de 10 toneladas cada uno.

"Timer". Término en inglés para nombrar a un interruptor automático que permite el paso del agua D.I. con una duración de 1 minuto aproximadamente.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Boffardi, B. P. y Smith, A. L. 1995. Chemical Treatment Makes Cooling Water Reusable. *Chemical Engineering*, 102(7):106-108.
- (2) Byers, B. 1995. Zero discharge: A Systematic Approach to Water Reuse. *Chemical Engineering*, 102(7):96-100.
- (3) Cappos, S. 1995. Membranes Minimize Liquid Discharge. *Chemical Engineering*, 102(7):102-104.
- (4) Corbitt, R. A. 1989. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. McGraw Hill. Nueva York. EEUUA.
- (5) Douglas, M. C. y Glenn, D. C. 1983. *Van Nostrand's Scientific Encyclopedia*. Van Nostrand Reinhold. Séptima edición. Nueva York. EEUUA.
- (6) <http://hammock.ifas.ufl.edu/bxt/fairs/1564>
- (7) <http://h2o.usgs.gov/public/pubs/chapter11/>
- (8) <http://mexico.mex.rohmhaas/rohmhaas/rhmex1.htm>
- (9) <http://outwardbound.org/obearth.htm>
- (10) <http://www.emich.edu/public/nasa/mission.htm>
- (11) <http://www.iaea.or.at/worldatom/inforesource/other/isotopes/gal4.htm>
- (12) <http://www.ksc.nasa.gov/facts/faq04.htm>
- (13) <http://www.on.doe.ca/GEWEX/background/water-ba.htm>
- (14) Lin, S. H. y Yeh, K. L. 1993. Looking to Treat Wastewater?. *Chemical Engineering*, 100(5):113-116.
- (15) Nordell, E. 1956. *Water Treatment for industrial and other uses*. Reinhold Publishing Co. Nueva York. EEUUA.
- (16) Perry, R. H. y Chilton, C. H. 1973. *Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill 5a. Ed. Nueva York. EEUUA.

- (17) Porteous, A. 1992. Dictionary of Environmental Science and Technology. John Wiley & Sons. Nueva York. EEUUA.
- (18) Ramírez, L. I. 1995. Agua. Apuntes de Ingeniería Ambiental. UNAM. México, D.F. México.
- (19) Smith, R., Petela, E. y Wang, Y. P. 1994. Water Water Everywhere. The Chemical Engineering, (565):21-24.
- (20) Tripathi, P. 1996. Pinch Technology Reduces Wastewater. Chemical Engineering, 103(11):97-90.
- (21) Van der Leeden, F., Troise, L. F. y Todd, K. D. 1990. The Water Encyclopaedia. Lewis Publishers. Segunda edición. Michigan. EEUUA.