

00521
116



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION DIAGNOSTICA DEL FUNCIONAMIENTO DE
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE UNA REFINERIA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
ITZEL PEREZ BERISTAIN



MEXICO D.F.

**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

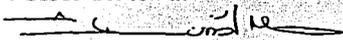
Jurado Asignado:

Presidente	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Vocal	Prof. Rodolfo Torres Barrera
Secretario	Prof. Alfonso Durán Moreno
1er. Suplente	Prof. Víctor Manuel Luna Pabello
2do. Suplente	Prof. Baldomero Pérez Gabriel

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM
Paseo de la Investigación Científica, Conj. E
Ciudad Universitaria

Asesor del tema:


Dr. Alfonso Durán Moreno

Sustentante:


Itzel Pérez Beristain

DEDICATORIAS

A la UNAM y la Facultad de Química por ser la mejor institución educativa de la que he formado parte.

A Edith Beristain Moreno, mamá eres el más grande ejemplo de mujer que he tenido; tu lucha constante por conseguir tus sueños, tu manera de darte a tus hijas, tu mezcla de ternura y sarcasmo, tu integridad y básicamente tu persona han sido motores en mi vida para salir adelante, porque a pesar de las malas experiencias vividas, me has enseñado a tener valor sin importar cuan difícil sean las circunstancias. Solo quiero recordar que aún tenemos mucho por caminar.

A José Antonio Pérez Chacón, papá, de quien más sino de ti he aprendido la bondad y generosidad, la alegría por la vida y la esperanza de que pase lo que pase todo es posible si nos esforzamos por ello, es muy simple saber que no hay forma alguna en que pueda pagar todo lo que me has enseñado, así que aunque sea en mínima parte quiero recompensar todo lo recibido y se muy bien que este logro es tan tuyo como mío.

A Kathia Pérez Beristain, en definitiva la mejor compañera de viaje que además de ser la mejor hermana-amiga que en todo momento esta dispuesta a todo por estar conmigo es sin lugar a dudas el apoyo pleno de mis metas.

A Itzel Pérez Beristain, todavía existen un sin fin de sueños que realizar. Continúa el movimiento.

A ti Señor, inmenso extrañó, porque a pesar de todo y de todos, día a día amaneces junto a mí.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser en definitiva mi "Alma Mater", por inculcar en mí el espíritu universitario, porque en ti aprendí a luchar, a sacrificar y principalmente a entregar todo por uno de mis sueños.

A mi familia, Edi, Chaco y Kathy porque gran parte de mi ser tiene mucho de ustedes.

Al Dr. Alfonso Durán por la oportunidad, el apoyo, la confianza y la amistad que me fueron brindadas al realizar este trabajo.

Mani Lau, por conocerme desde siempre, por tu inmenso cariño, y por orientarme en mis andares por la vida.

Abue Ampa, por tu ejemplo de vida que me motiva a hacer cualquier cosa.

¡Gracias Señor!, Porque estoy viva y tengo todo para cumplir mis sueños.

Adri por no poder negar que eres la amiga, que en innumerables ocasiones estuvo conmigo a pesar de todo, además de ser parte absolutamente importante de mi vida en la Facultad. ¡Gracias!

Ale por que en definitiva fuiste parte importante de mi camino por la Ing. Química, compartiendo desvelos, laboratorios, proyectos, exámenes y demás, pero principalmente por tu amistad.

A mis hermanas, Ana, Angy, Silvia y Karla por ser a mi juicio personas que me conocen y creen en mí, además de ser las mejores hermanas que alguien puede desear tener. ¡Las adoro!

A Efrain por ser mi amigo desde el primer semestre y compartir mis locuras a lo largo de toda la carrera.

Ramiz, por todos estos años compartidos y recibiendo siempre apoyo y amistad de tu parte, ¡Gracias!

A Gómez Maqueo (la Ethna) porque sin duda no te cansas de apoyarme aún en mis tonterías, y porque en definitiva apreció con todo mi ser tu amistad. ¡Mil gracias!

Sra. Mary Paz, que le puedo decir a la persona que más me escucha, que me apoya, me entiende y sobre todo que esta conmigo pese a todo. Gracias y aunque no lo crea todos sus consejos y cariño han sido grandes estímulos a lo largo de este tiempo.

A la familia Pérez Acosta , Miguel Chacón, tía Ana, Beli, Migue, Ale y Sergio porque aún a pesar de la distancia están conmigo.

De nuevo a Karla Carmina, porque como niego que has estado conmigo a lo largo de toda mi vida, que eres mi primer amiga, que has sido la persona que con más puntos encontrados me enseñó a ser tolerante y a valorar las diferencias, por la magia de nuestra amistad y las similitudes aparentemente inexistentes. ¡Gracias!

A mi sobrinita Alina porque se siente cuando las personas sin importar lo que hagan están y estarán contigo. A Eris por inspirarme a dejar salir la maldad y la alegría de mi persona.

A Lore, Vi, Beto y Carlos porque estuvieron conmigo en este proyecto y siempre conté con su apoyo. Por mucho tengo que agradecerles a los cuatro todo lo hecho y vivido en este tiempo.

A Benja, Mauricio y Lili por los buenos y no tan buenos momentos compartidos, ¡gracias! A las ingenieras (o): Elisa, eres lo máximo y por su puesto que eres una persona que me inspira muchísima bondad, gracias por eso; Wendel: te quiero un buen y en definitiva agradezco mucho la oportunidad que me has dado de conocerte; Adrianita, Pili, Ethel, Janina, Toña,, Isela, Ale Y, Chema, Kari y Gaby Meré ¡Gracias! A mi tía Chio, a mi má Pili por ser excelentes amigas desde que las conocí. A mis amigas de cadena, Sandra "mami" es increíble como de un instante a otro puedes cambiar de sentir por alguien y contigo solo puedo decir que nunca me arrepentiré de haber decidido ser tu hija "prodiga", Fer, Nayo, Anel, Luana, Lety, por saber lo que fue.

A Paola "La Güera", Montse, Ari, Vero O., Ricardo, Vane, Elvia, Eunice, Erikita, Arlina, Che-Che, Canito, Nelson, Goyo, Arroyo, Diana S, Diana C, Marlen, , Adrián, Guillermo, Julio E, Quique, Daniel, Francisco, Fer M., Beto, Vic Ortiz, Israel, Javier, Pablo, Arturo, Salvador, Jorge, Luis, Víctor E., Xanat, Andres (esposo), Fabián, Erwin, Marina, Gaby M, Yara, Graciela, Yenny, Paulina, Rosa Isela, Itze y Janet, Ayax y Mac porque de alguna u otra forma todos ustedes son parte de lo que he vivido y de lo que soy. ¡Gracias! Y a todos aquellos que se cruzaron en mi camino y de algún modo lograron que yo sea lo que soy.

A Luis Mario porque a pesar de que parece poco el tiempo compartido, es inmenso lo que siento por ti, además de ser una persona que ha trascendido en mi vida; no necesito decir nada más.....tu lo sabes. 厩恋仲厩

INDICE GENERAL.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Problemática.	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Metas	4
1.4 Alcances	5
CAPITULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	6
2.1 Funcionamiento típico de una refinería	6
2.1.1 Características de las aguas residuales de una refinería	11
2.1.2 Contenidos típicos de contaminantes en aguas residuales de una refinería.	17
2.1.3 Sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en una refinería.	19
2.1.4 Situación actual de la industria petrolera en México.	22
2.1.4.1 Características de las aguas residuales de la industria petrolera en México.	26
2.2 Torres de enfriamiento	29
2.2.1 Tipos de torres de enfriamiento	29
2.2.2 Calidad del agua requerida en torres de enfriamiento	35
2.3 Evaluación económica de proyectos.	40
2.3.1 Métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo.	40
2.3.1.1 Método de valor presente neto.	40

2.3.1.2	Tasa Interna de Rendimiento. (TIR)	44
CAPITULO 3. CASO DE ESTUDIO		48
3.1	Tren de tratamiento.	48
3.1.1	Cribado del influente:	50
3.1.2	Eliminación de Grasas y Aceites:	50
3.1.3	Sistema de Tratamiento Biológico:	51
3.1.4	Suavización en frío:	56
3.1.5	Recarbonatación de CO ₂ :	58
3.1.6	Cloración:	58
3.1.7	Filtración con Arena:	59
3.1.8	Deshidratación de Lodos	59
3.2	Características del influente de la PTAR.	60
CAPITULO 4. EVALUACIÓN TÉCNICA.		62
4.1	Plan de muestreo y análisis.	63
4.2	Flujo.	65
4.3	Evaluación de la calidad del agua en la PTAR.	66
4.4	Balance de masa	81
4.5	Análisis de las condiciones actuales de la PTAR.	83
4.5.1	Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)	84
4.5.2	Sistema biológico UNITANK	87
4.5.3	Sistema de tratamiento fisicoquímico	92
CAPITULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.		94

5.1	Cálculo de las tarifas para facturación de la PTAR	94
5.1.1	Tarifa de Inversión	94
5.1.2	Tarifa Financiera	96
5.1.3	Tarifa de Operación Fija	97
5.1.4	Tarifa de Operación Variable	100
5.2	Facturación de la PTAR en el mes 24	106
5.3	Cálculos financieros a valor presente y a valor futuro	109
5.3.1	Valor de la planta	109
5.3.2	Valor futuro de la planta a 12 años (Capacidad 240 L/s)	110
5.3.3	Valor presente de la planta a 12 años (Capacidad 240 L/s)	112
5.3.4	Valor futuro de la planta a 12 años (Capacidad 40 L/s)	113
5.3.5	Valor presente de la planta a 12 años (Capacidad 40 L/s)	114
5.3.6	Valor de rescate de la planta	115
CAPITULO 6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6.1	Conclusiones	119
6.2	Recomendaciones	121
CAPITULO 7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

INDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 2.1</i> Contenido de nitrógeno en el petróleo. (Gruse y Stevens..1979)	19
<i>Tabla 2.2</i> Capacidad de refinación (miles de barriles diarios) (Petróleos Mexicanos, 2001)	25
<i>Tabla 2.3</i> Descargas de contaminantes al agua en el año 2001 (toneladas).(Petróleos Mexicanos, 2001)	27
<i>Tabla 2.4</i> Intervalo de valores para el agua de enfriamiento. (Silverstein y Curtis, 1971)	37
<i>Tabla 2.5</i> Parámetros de control microbiológico para agua de enfriamiento. (Rigola, 1999)	38
<i>Tabla 2.6</i> Ejemplo de un sistema de tratamiento para agua de enfriamiento. (Rigola, 1999)	38
<i>Tabla 3.1</i> Características del influente y efluente de la PTAR de estudio.	61
<i>Tabla 4.1</i> Localización y descripción de los puntos de muestreo	64
<i>Tabla 4.2</i> Comparación de la calidad del agua del influente y efluente de la refinería estipulada en las bases de diseño respecto de la obtenida del muestreo realizado por el laboratorio acreditado externo. (Muestras obtenidas en las instalaciones de la PTAR)	78
<i>Tabla 4.4</i> Características de funcionamiento del DAF de diseño y actuales	86
<i>Tabla 4.6</i> Características de diseño y actuales del sistema UNITANK	88
<i>Tabla 4.8</i> Características de diseño de los sistemas fisicoquímicos y condiciones actuales	92
<i>Tabla 4.9</i> Eficiencias de remoción en el tratamiento terciario (datos del muestreo)	93
<i>Tabla 5.1</i> Descripción de índices para el cálculo de la tarifa financiera.	96
<i>Tabla 5.2</i> Descripción de índices para el cálculo de la Tarifa de Operación Fija.	98
<i>Tabla 5.5</i> Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas. (tipo de cambio) (www.banxico.org.mx)	102
<i>Tabla 5.6</i> Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (INPC, IPQ) (www.banxico.org.mx)	103

Tabla 5.7 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (tasa libor, salario mínimo) (www.banxico.org.mx, www.boe.fin.ec)	104
Tabla 5.8 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (IGTDEE, PPI). (www.banxico.org.mx, www.data.bls.gov)	105
Tabla 5.9 Facturación de la PTAR correspondiente al mes 24.	107
Tabla 5.10 Porcentaje de las tarifas financieras	108
Tabla 5.11 Descripción de inversiones en moneda nacional y extranjera.	109
Tabla 5.12 Reporte anual de costos.	111
Tabla 5.13 Tarifas de facturación futuras cálculos al año 2012 (240 L/s).	112
Tabla 5.14 Tarifas de facturación presentes calculadas al año 2002 (240 L/s)	113
Tabla 5.15 Tarifas de facturación futuras calculadas al año 2012 (gasto 40 L/s)	113
Tabla 5.16 Resumen de Tarifas de facturación calculadas al año 2012 con gasto de 40 L/s.	114
Tabla 5.17 Resumen de las tarifas de facturación calculadas al año 2002 con un gasto de 40 L/s.	115
Tabla 5.18 Resumen de cálculos financieros.	117

INDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 2.1 Esquema de una refinería típica. (Gary, 1994)</i>	7
<i>Figura 2.2 Fuentes de generación de residuos en una refinería. (McKetta, 1998)</i>	15
<i>Figura 2.3 Aportación de descarga de contaminantes por empresas de PEMEX (Petróleos Mexicanos, 2001)</i>	28
<i>Figura 2.4 Características típicas del agua residual de una refinería (Petróleos Mexicanos, 2001)</i>	28
<i>Figura 2.5 Torre de tiro inducido McKetta J.J. (1998)</i>	31
<i>Figura 2.6 Torre de enfriamiento de basin vertiente. (McKetta, 1998)</i>	32
<i>Figura 2.7 Torre de enfriamiento con flujo cruzado. (McKetta, 1998)</i>	33
<i>Figura 2.8 Torre de enfriamiento de tipo humidificación-secado. (McKetta, 1998)</i>	35
<i>Figura 3.1 Diagrama de bloques del esquema actual de tratamiento en la PTAR de estudio</i>	49
<i>Figura 3.2 Sistema Biológico UNITANK (www.wastewater.com)</i>	52
<i>Figura 3.3 Fases del sistema biológico www.wastewater.com</i>	54
<i>Figura 4.1 Flujo del Influyente de la PTAR</i>	65
<i>Figura 4.2 Variación de las concentraciones de DQO y DBO₅ en el tren de tratamiento de la PTAR.</i>	66
<i>Figura 4.3 Variación de las concentraciones de fenoles, grasas y aceites en el tren de tratamiento de la PTAR</i>	67
<i>Figura 4.4 Variación de las concentraciones de nitrógeno (N_T, NTK, N_{NH4+}) en el tren de tratamiento de la PTAR</i>	67
<i>Figura 4.5 Variación de las concentraciones de nitrógeno (N_{org}, N_{NO2-}, N_{NO3-}) en el tren de tratamiento de la PTAR</i>	68

<i>Figura 4.6 Variación de las concentraciones de sólidos suspendidos totales en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4.7 Variación de las concentraciones de dureza en el tren de tratamiento de la PTAR....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.8 Variación de las concentraciones de sílice en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4.9 Variación de las concentraciones de fosfatos en el tren de tratamiento de la PTAR..</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.10 Variación de los valores de turbiedad en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.11 Variación de los valores de pH en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.12 Variación de los valores de conductividad y de la concentración de sólidos disueltos totales en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4.13 Variación de las concentraciones de alcalinidad en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4.14 Variación de los valores de temperatura en el tren de tratamiento de la PTAR.....</i>	<i>76</i>



Resumen

En el presente trabajo se realizó la evaluación diagnóstica del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que tiene por objeto producir agua tratada para torres de enfriamiento de una refinería; para ello fue necesario realizar análisis químicos de la calidad del influente y efluente de la PTAR así como verificar las condiciones de operación y diseño de la planta; también se realizó una evaluación económica, la cual permitió determinar si la operación de dicha planta es económicamente rentable para la refinería o no. El principal problema que tiene la planta de estudio es que la calidad del agua tratada no cumple con los requerimientos necesarios para su utilización en las torres de enfriamiento; pues entre otros problemas, presenta un alto contenido de nitrógeno. Aunado al problema de la alta concentración de contaminantes, se tiene que el flujo de entrada a la planta es mucho menor al de diseño de la misma, por lo que no se logra el máximo aprovechamiento de la planta y en consecuencia tampoco del agua residual. Con la realización de esta evaluación se determinó que la PTAR, bajo el esquema actual de tratamiento, no puede producir agua de calidad aceptable por la refinería, lo anterior, debido principalmente a la sobrecarga de compuestos nitrogenados contenidos en el agua residual proveniente de la refinería y, en menor grado, a la presencia de sólidos suspendidos totales, así como al incremento en la dureza del agua residual derivada del tratamiento de que es objeto en la propia PTAR. Para reducir el problema de nitrógeno, en la PTAR deben hacerse las adecuaciones necesarias para contar con un sistema efectivo de nitrificación – desnitrificación. El proceso de nitrificación por sí sólo no ofrecerá ninguna solución a la refinería pues el nitrógeno amoniacal será transformado a nitratos los cuales son más fácilmente



asimilados por los microorganismos que proliferan en las torres de enfriamiento. Por lo anterior se deben realizar las adecuaciones necesarias en la refinería a aquellos procesos involucrados en el aumento del contenido de compuestos nitrogenados que produce la refinería, a efecto de obtener la calidad de agua residual que debe recibir la PTAR, y así poder exigir la calidad de agua requerida para torres de enfriamiento.



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el agua residual puede y debe constituir un recurso importante para que exista el menor consumo posible de agua de suministro en las industrias. Es indispensable que el agua residual que se produce en cualquier industria sea tratada debidamente para poder reusarla en alguna de las áreas de oportunidad, por ejemplo: Riego de áreas verdes, repuesto de agua en torres de enfriamiento, agua de alimentación en calderas, agua contra incendio y reciclaje en el proceso. Además se debe considerar que el menor consumo de agua cruda se verá reflejado en los costos de operación de cualquier industria, por lo que el beneficio de utilización de aguas residuales tratadas será mayor. Cabe mencionar que en la última década ha habido un cambio de los industriales mexicanos con respecto al uso y aprovechamiento del agua. Lo anterior motivado por programas gubernamentales como por ejemplo la certificación de "Industria Limpia" la cual va más allá de una buena imagen ante la sociedad. Con respecto al aprovechamiento de este recurso, una industria limpia debe de hacer uso racional del agua de suministro y las aguas residuales que produce son, ya sea recicladas, reusadas o vertidas al ambiente con un tratamiento previo adecuado; y aún en caso de que no se cuente con una certificación de industria limpia de igual forma es importante que se implemente al menos un programa para la mejor utilización de dicho recurso.

Con respecto a las plantas del tratamiento de aguas residuales, es importante señalar que cada planta se diseña con base en la calidad del agua residual que se va a tratar y en el uso que se le dará al agua tratada, la mayoría de las plantas utilizan principalmente

El día mas desperdiciado de todos es aquel en el que no se ha reido.

Sébastien-Roche Nicolás Chamfort



dos etapas de tratamiento: El tratamiento primario en donde se elimina una fracción de sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. La siguiente etapa es el tratamiento secundario, el cual esta encaminado principalmente a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. La etapa final de tratamiento debe ser forzosamente una desinfección. También debe considerarse etapas de pretratamiento, que se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplos de pretratamientos se pueden citar el desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos (Metcalf y Eddy, 1996).

En el presente trabajo de tesis se realizó la evaluación diagnóstica del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales que tiene por objeto producir agua tratada para torres de enfriamiento de una refinería. En dicha planta se cuenta con las etapas de tratamiento descritas anteriormente y otras etapas de tratamiento fisicoquímico (coagulación-floculación).

Para realizar dicha evaluación fue necesario realizar análisis químicos de la calidad del influente y efluente de la PTAR, así como verificar que las condiciones de operación y diseño de la planta fueran las adecuadas para que el agua tratada cumpliera con las

El día mas desperdiciado de todos es aquel en el que no se ha leído.

Sébastien-Roche Nicolás Chamfort



especificaciones requeridas para su utilización en torres de enfriamiento; también se realizó una evaluación económica, la cual sirvió de base para decidir si la planta de tratamiento de aguas residuales debía seguir funcionando de acuerdo con su actual esquema financiero (contrato de servicios con una empresa privada) o no.

1.1 Problemática.

Debido a la necesidad de una refinería típica para implementar un programa de mejor uso del agua se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de tratar la descarga aceitosa que se produce en la refinería para que ésta sea reutilizada en las torres de enfriamiento. El problema a evaluar es que la descarga aceitosa de la refinería no cumple con las especificaciones establecidas en las bases de diseño, presenta un alto contenido de nitrógeno amoniacal así como de fenoles; por lo que es necesario disminuir las concentraciones de estos contaminantes para que después del tratamiento realizado en la PTAR, el agua pueda utilizarse en las torres de enfriamiento.

Con base en lo anterior se realizó la evaluación técnica y económica en la que se determinó qué opciones se tienen para que el agua tratada cumpla con todos los requerimientos necesarios para su utilización en torres de enfriamiento y conocer la conveniencia económica de continuar o no con un contrato de prestación de servicios con una empresa que se encarga del funcionamiento de la planta.

El día mas desperdiciado de todos es aquel en el que no se ha leído.

Sébastien-Roche Nicolás Chamfort



1.2 Objetivo

Realizar la evaluación diagnóstica de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para determinar su mejor alternativa de utilización.

1.3 Metas

- a) Realizar el análisis de la calidad del agua effluente de la refinería, del producto obtenido en cada una de las etapas del tratamiento de la PTAR y de su producto final, lo anterior referenciado al diseño,
- b) Revisar el esquema actual de tratamiento de agua residual en la PTAR de la refinería,
- c) Estudio técnico – económico de los resultados que se tienen con la operación de la PTAR en las condiciones actuales
- d) El estudio técnico del funcionamiento actual de la PTAR tiene dos objetivos particulares principales:
 - Determinar si los sistemas actuales son los adecuados para cumplir los requerimientos de calidad de agua considerando las condiciones de entrada establecidas en las bases de diseño.
 - Determinar si con las condiciones actuales de volumen y calidad de agua que la refinería envía a la PTAR ésta es capaz de producir un agua tratada con la calidad adecuada para ser utilizada en las torres de enfriamiento.

El día mas desperdiciado de todos es aquel en el que no se ha leído.

Sébastien-Roche Nicolás Chamfort



1.4 Alcances

Los alcances de este trabajo son:

- a) Realizar la evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- b) Realizar una evaluación económica de la operación de la PTAR.

El día mas desperdiciado de todos es aquel en el que no se ha reído.

Sébastien-Roche Nicolás Chamfort



CAPITULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

El contenido de este capítulo consta principalmente de los temas de utilidad que fueron consultados para la realización de la evaluación técnica y económica de la PTAR de estudio, así pues se presentan temas como el funcionamiento típico de una refinería, el tipo de aguas residuales generadas en una refinería, las características del agua para torres de enfriamiento y la evaluación económica de proyectos entre otros.

2.1 Funcionamiento típico de una refinería

La industria de refinación de petróleo convierte crudo en más de 2500 productos refinados, incluyendo gas licuado, gasolina, queroseno, combustible para barcos y aviones, diesel, lubricantes y soportes para la industria petroquímica. Las actividades de la refinación de petróleo empiezan con el recibo de crudo para almacenamiento en la refinería, incluyen todas las operaciones de manejo y refinación de petróleo y, terminan con el almacenamiento preparatorio para distribuir los productos refinados (www.imp.mx). La industria de refinación de petróleo emplea una amplia variedad de procesos. El diagrama de flujo de una refinería es determinado por la composición de la alimentación de crudo y la lista de productos refinados elegidos. El diagrama de flujo que se presenta a continuación muestra el esquema simplificado de proceso usado en una refinería típica. Este proceso puede variar de acuerdo a los procesos empleados por cada refinería.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



A continuación se mencionarán las 5 categorías de los procesos de refinación y sus operaciones asociadas (Jones, 1995).

- 1) Procesos de separación.
 - a) Destilación atmosférica
 - b) Destilación al vacío
 - c) Recuperación de fracciones ligeras (procesamiento de gas)
- 2) Procesos de conversión de petróleo
 - a) Fraccionamiento (térmico y catalítico)
 - b) Reformación
 - c) Alquilación
 - d) Polimerización
 - e) Isomerización
 - f) Conversión
 - g) Rompimiento de fuerza
- 3) Procesos de tratamiento de petróleo
 - a) Hidrodesulfuración
 - b) Hidrotratamiento
 - c) Endulzamiento químico
 - d) Remoción de gas ácido
- 4) Soporte y manejo de productos
 - a) Almacenamiento
 - b) Distribución

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



-
- c) Carga
 - d) Descarga
- 5) Servicios Complementarios
- a) Rehervidores
 - b) Tratamiento de agua residual
 - c) Producción de hidrógeno
 - d) Plantas de recuperación de azufre
 - e) Torres de enfriamiento
 - f) Sistema de escape (calderas)
 - g) Compresores

Procesos de separación (Nelson, 1958).

La primera fase en las operaciones de refinación de petróleo es la separación de crudo en la mayoría de sus componentes, usando 3 procesos de separación: Destilación atmosférica, destilación al vacío y recuperación final (procesamiento de gas). El crudo consiste en una mezcla de hidrocarburos incluyendo compuestos con parafinas, naftaleno y aromáticos; en ocasiones estos compuestos presentan pequeñas impurezas incluyendo azufre, nitrógeno, oxígeno y metales. Los procesos de separación en la refinación de crudo tienen por objetivo separar dicho crudo en sus fracciones constituyentes por medio de sus puntos de ebullición.

Procesos de conversión

Para cubrir la demanda de gasolina de alto octanaje, combustibles y diesel; componentes como petróleo residual y residuos de fracciones ligeras son convertidas en gasolina y

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



otras fracciones ligeras. Fraccionamiento, conversión y rompimiento de fuerza son procesos usados para romper las largas moléculas de petróleo en unas más pequeñas. Los procesos de polimerización y alquilación son usados para combinar las pequeñas moléculas de petróleo con moléculas grandes. Los procesos de isomerización y reformación se aplican para reorganizar la estructura de las moléculas de petróleo para producir moléculas de mayor valor pero de un peso molecular similar.

Procesos de tratamiento.

Los procesos de tratamiento de petróleo estabilizan y mejoran los productos mediante la separación de los productos principales de secundarios y removiendo los elementos no deseables.

Elementos no deseables como el azufre, nitrógeno, oxígeno son removidos por hidrodesulfuración, hidrotreatmento, endulzamiento químico y remoción de gas ácido. Los procesos de tratamiento emplean primordialmente la separación de productos incluyendo procesos como eliminación de asfalto, sal, minerales, arena y agua del crudo antes de su refinación.

Soporte y manejo de productos.

Las operaciones de soporte y manejo de productos consisten en la descarga, almacenamiento, distribución y carga de los mismos.

Servicios complementarios.

Una amplia variedad de procesos y equipos que no están directamente involucrados en la refinación de petróleo son usados en una refinería y son vitales para el funcionamiento de ella. Ejemplo de ello son los rehervidores, los servicios de tratamiento de aguas

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



residuales, las plantas de hidrógeno, las torres de enfriamiento, las unidades de recuperación de azufre.

Productos de los servicios complementarios (agua para torres de enfriamiento, vapor y procesos de transferencia de calor) son requeridos por la mayoría de operaciones unitarias a través de toda la refinería (www.epa.gov).

2.1.1 Características de las aguas residuales de una refinería

Almacenamiento y Transportación

Las aguas residuales producidas en el almacenamiento de crudo son generalmente contaminadas con petróleo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

Estas aguas residuales tienen una alta demanda química de oxígeno (DQO), pero una baja demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Durante el almacenamiento del petróleo crudo, el agua y los sólidos suspendidos en el petróleo se separan.

La capa del agua forma el lodo inferior que se acumula debajo del crudo. Este lodo (capa del agua) se drena periódicamente. El aceite emulsionado presente en la interfase crudo-agua se recoge por separado y se lleva a un sistema de recuperación de petróleo.

Fraccionamiento.

El fraccionamiento, como el nombre sugiere, separa el petróleo en fracciones intermedias con un intervalo específico de puntos de ebullición. Las aguas residuales del fraccionamiento de crudo se generan a partir de tres fuentes: La primera es la extracción de los acumuladores elevados. Estas aguas residuales pueden ser una fuente importante

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



de sulfuros, especialmente cuando se procesa el petróleo bruto amargo. Estas aguas residuales también contienen cloruros, mercaptanos, y fenoles.

La segunda fuente de aguas residuales corresponde a las emulsiones estables de aceite formadas en los condensadores barométricos usados en unidades de la destilación al vacío. Sin embargo, si se utilizan condensadores superficiales en vez de condensadores barométricos, se evita el problema. La tercera es la descarga de líneas del aceite-muestreo, las cuales pueden formar emulsiones en el drenado.

Reformación.

La reformación es un proceso para convertir nafta de bajo-octanaje, gasolina pesada, y bases ricas en naftaleno en gasolina de alto octanaje, compuestos aromáticos, e isobutano.

Las aguas residuales generadas en el proceso de reformación contienen petróleo libre y emulsionado y sustancias orgánicas que ejercen una alta demanda bioquímica de oxígeno.

Fraccionamiento Catalítico y Térmico.

En el proceso de fraccionamiento térmico, las fracciones pesadas del crudo se rompen en fracciones de menor peso molecular sin el uso de catalizadores.

La fuente principal de las aguas residuales en el fraccionamiento térmico es el acumulador elevado del fraccionador. Estas aguas residuales contienen petróleo, amoníaco, fenol y sulfuro y son altamente alcalinas.

En el fraccionamiento catalítico, las fracciones pesadas, principalmente aceites de gas, son quebradas en fracciones de bajo peso molecular en la presencia de un catalizador.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Los agentes contaminadores principales que resultan de este proceso son aceite, sulfuros y fenol. Las aguas residuales son alcalinas con alta demanda bioquímica de oxígeno y alta demanda química de oxígeno.

Las concentraciones del sulfuro y del fenol en las aguas residuales dependen del tipo de petróleo crudo que es procesado.

La regeneración del catalizador gastado puede producir monóxido de carbono, de tal modo que puede crear problemas de contaminación atmosférica.

Desulfuración.

Se utiliza el proceso de la desulfuración principalmente cuando los productos de petróleo contienen altas cantidades de sulfuro. Este proceso se realiza en la presencia de hidrógeno. Las aguas residuales generadas durante la desulfuración contienen altas cantidades ácido sulfhídrico y mercaptanos.

Procesos de tratamiento de solventes.

Un proceso de tratamiento de solventes es utilizado para mejorar la calidad de los lubricantes con base de aceite por el retiro de componentes indeseables tales como compuestos aromáticos, asfaltos, resinas, ceras, u otras de cortes del aceite lubricante y también para la preparación de la materia de base para el fraccionamiento catalítico de residuos de asfalto como subproducto.

Los agentes contaminadores principales de este proceso son los solventes por sí mismos. Muchos solventes, tales como fenol, glicol, y las aminas, pueden dar lugar a una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Hidrotratamiento.

El proceso hidrotratamiento se utiliza para quitar compuestos de sulfuro y de nitrógeno; Olor, color, y formación de goma de los materiales; así como para saturar olefinas por acción catalítica en la presencia del hidrógeno.

La cantidad de aguas residuales generada y de las concentraciones de agentes contaminantes depende del proceso usado; siendo los principales contaminantes el amoníaco y sulfuros, con presencia de fenol en caso de que el intervalo de punto de ebullición de la alimentación sea alto.

Servicios Complementarios.

Para mantener varios de los procesos empleados en una refinería y complejos petroquímicos, se utilizan equipos y funciones para uso general. Éstos son la generación y suministro de vapor, agua de enfriamiento, agua de acondicionamiento o tratamiento previo, así como el tratamiento del agua de alimentación a calderas.

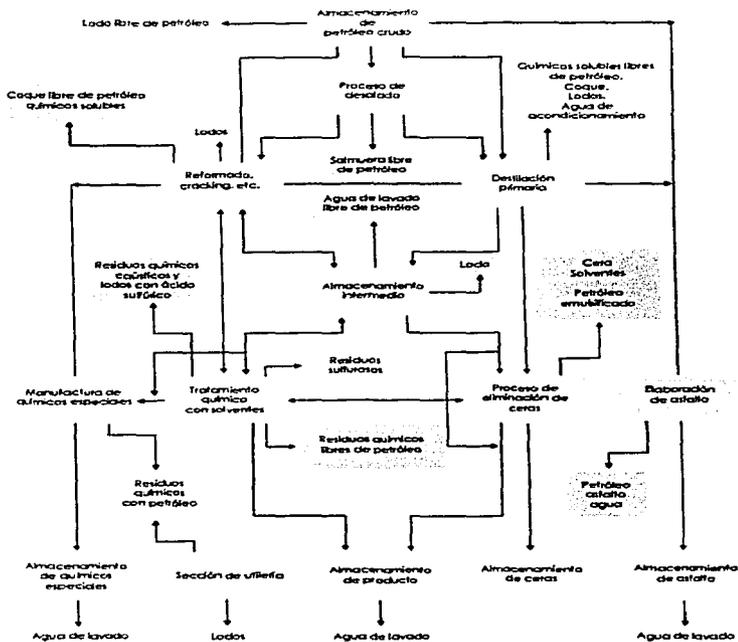
Las operaciones para uso general implican varios procesos fisicoquímicos y de intercambio iónico. La cantidad y la calidad de las purgas de calderas y de las torres de enfriamiento dependen del diseño del sistema para uso general.

La cantidad de aguas y de lodo producido por la planta de tratamiento de aguas residuales depende de la calidad del agua cruda y de la función del uso del agua de la planta. Las fuentes de la generación de las aguas residuales se presentan esquemáticamente en la figura 2.2.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

Figura 2.2 Fuentes de generación de residuos en una refinería (McKetta, 1958).



Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndolo. La asadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



El uso del agua y la generación de las aguas residuales en una refinería dependen de si el sistema de enfriamiento empleado es de un solo paso o de recirculación. Las refinerías que tienen sistemas de enfriamiento de un solo paso están situadas en proximidad cercana al mar y utilizan una cantidad enorme de agua de mar. Estas refinerías descargan cantidades enormes de hidrocarburos valiosos en sus aguas residuales.

El consumo de agua en las refinerías que tienen sistemas de enfriamiento de un solo paso va de 18.000 a 27.000 m³/1,000 toneladas de petróleo bruto procesado. La cantidad entera, a excepción de pérdidas de la evaporación, es descarga como aguas residuales.

El consumo de agua en las refinerías que tienen sistemas de enfriamiento con recirculación varía entre 1,300 y 5,600 m³/1,000 toneladas de petróleo bruto procesado, mientras que la generación de las aguas residuales en tales refinerías se extiende entre 300 y 1,800 m³/1,000 toneladas de petróleo bruto procesado.

Las concentraciones de varios agentes contaminantes en las aguas residuales generadas en una refinería dependen del contenido del sulfuro y del fenol del petróleo crudo procesado. Varias sustancias se descargan con los efluentes dependiendo de la forma de procesar los productos químicos, intermedios, y los productos finales, estas sustancias incluyen sobre todo aceite y grasa; y los efluentes tienen altas concentraciones de DBO, COT, sulfuros, fenoles y sólidos.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



2.1.2 Contenidos típicos de contaminantes en aguas residuales de una refinería.

Las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales generadas en una refinería dependen, entre otros factores, a los contenidos de azufre y fenol que se encuentran en el petróleo crudo. Diversos contaminantes se descargan con los efluentes de las corrientes de proceso (McKetta, 1998).

El contenido de nitrógeno (Gruse y Stevens, 1979) en el petróleo crudo es bajo por lo general. Parecen ser erróneos los antiguos análisis que indicaban hasta 2% de nitrógeno para algunos crudos; el máximo registrado en trabajos recientes es 0.88 % en peso para un crudo de Oxnard, California. La mayoría de los crudos californianos y algunos de otras áreas contienen del 0.1 al 0.7 %; sin embargo, no son raros los crudos sin nitrógeno detectable o con trazas de él únicamente. En general, cuanto más asfáltico es el petróleo, mayor es su contenido en nitrógeno. Se ha establecido una correlación entre porcentaje de nitrógeno y residuo carbonoso; a mayor valor de éste último más alto porcentaje de nitrógeno (Bali et al., 1981).

La presencia de nitrógeno en el petróleo tiene en las operaciones de refinería un significado mucho mayor de lo que podría esperarse a juzgar por las pequeñas cantidades presentes. Los compuestos de nitrógeno pueden ser responsables del envenenamiento de los catalizadores de cracking (Maxted, 1978), contribuyen también a la formación de gomas en productos tales como el combustoleo (Thompson et al., 1981).

La tendencia de los años recientes hacia un fraccionamiento más profundo del crudo para obtener materias primas para el cracking catalítico ha acentuado los efectos

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



perjudiciales de los compuestos de nitrógeno, al concentrarse éstos en las fracciones de más alto campo de ebullición.

Se han encontrado compuestos de nitrógeno en fracciones de petróleo que destilan a temperaturas tan bajas como 225° C; sin embargo del nitrógeno total en 12 crudos examinados, se encontró un 85 al 100% en residuos que destilaban por encima de 300°C a 30 mm (Gruse, 1979). Otros autores han confirmado la naturaleza no volátil de la mayoría de los compuestos de nitrógeno en el petróleo (Ritcher et al., 1982).

Dichos compuestos pueden concentrarse en la porción asfáltica de los crudos o de sus fracciones residuales.

Se dispone de poca información relativa de aquellos compuestos que no pueden ser extraídos con ácidos minerales diluidos; éstos contienen la mayor parte del nitrógeno del petróleo. Sauer, Melpolder, y Brown (1983) se valieron de fraccionamiento por adsorción para concentrar los compuestos de nitrógeno en dos destilados de combustoleo para calefacción doméstica, a saber, uno procedente del cracking catalítico y otro de la destilación directa, ambos de un crudo de Kuwait.

El examen de los concentrados por espectrometría de masas indicó la presencia de carbazoles, índoles y pirroles en adición a las piridinas y quinolinas básicas. Para el producto de destilación directa, la distribución de los diversos tipos en el concentrado de nitrógeno es como sigue:

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Tabla 2.1 Contenido de nitrógeno en el petróleo (Gruse y Stevens..1979).

Contenido de nitrógeno	Porcentaje
Piridinas	43.9
Carbazoles	29.5
Índoles	9.4
Pirroles	8.9
Quinolinas	8.3

2.1.3 Sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en una refinería.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en una refinería se caracterizan por tener tres etapas de tratamiento principales: (Ramhalo, 1996)

- Separación primaria de aceites
- Separación secundaria de aceites con remoción de sulfuros, y
- Tratamiento biológico

Separación primaria de aceites.

Las unidades primarias de separación de aceites son generalmente separadores de gravedad, como los del Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés), y separadores de platos paralelos o separadores de platos inclinados. Estos separadores se operan sin ningún tipo de químico o coagulante. El aceite separado en estas unidades es reciclado a la refinería. Los separadores de gravedad, son largos, con cámaras rectangulares angostas diseñadas para alcanzar velocidades específicas horizontal y verticalmente, para facilitar la separación de aceites por medio de la diferencia de

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndolo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



densidades entre el agua y el aceite. Las unidades están equipadas con dispositivos de desnatado de aceites para la remoción de los mismos.

Separación secundaria de aceites.

La separación secundaria de aceites, la cual incluye la precipitación de sulfuros, es requerida cuando existe una gran cantidad de aceites emulsificados en las aguas residuales. Los aceites emulsificados no pueden ser removidos en los separadores de gravedad. Una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles, uno se dispersa a través del otro en forma de gotas muy pequeñas. Las emulsiones son estabilizadas usando agentes desemulsificantes como son jabones, sulfatos, ácidos sulfónico y nafténico, compuestos cuaternarios de amoniaco, éteres y ésteres.

El proceso por el cual las emulsiones son eliminadas, involucra la neutralización de cargas con la formación de flóculos de carga opuesta; la absorción de aceites por el flóculo y atrapar el aceite como flóculos desarrollados y agruparlos alrededor de las gotas de aceite.

El proceso es llevado a cabo en condiciones ácidas con un intervalo de pH de 5-6. Subsecuentemente, el pH es elevado hasta 7.5-8 con la adición de cal, la cual precipita ácidos y sales insolubles de cal.

Dependiendo de la calidad del agua residual de la refinería, se utilizan diversos coagulantes con base en su efectividad como son: Sulfato de hierro, cloruro férrico, cal u otros que se usan como desemulsificantes de aguas residuales. Los sistemas de flotación de aire con adición de coagulantes son ampliamente usados para esta aplicación.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



La velocidad vertical de las gotas de aceite depende de la diferencia de densidades entre el aceite y el líquido. Esto se incrementa por la introducción de burbujas de aire dentro del sistema que se unen a los glóbulos de aceite, y los aglomerados empiezan a ser más ligeros alcanzando la superficie. Tubos verticales coaguladores, coaguladores de tipo cartucho, y camas profundas de filtros de arena son ejemplos de equipos basados en el principio de remoción por coagulación y son usados para la remoción de aceites emulsificados.

Remoción de sulfuros (Nilsen et al., 2002).

El hidróxido de sodio es frecuentemente utilizado como medio de separación para remover los sulfuros y los compuestos con fenol de hidrocarburos fraccionados.

Durante este proceso sulfuro de sodio y otros productos se forman de acuerdo a las siguientes reacciones:



Para las refinerías, las grandes descargas con altos contenidos de sosa y sulfuros son removidas por precipitación química con sales de hierro que es el método más comúnmente utilizado, además es más económico y eficiente que la neutralización y remoción.

Tratamiento biológico.

El tratamiento biológico es utilizado para remover contaminantes que tengan una demanda bioquímica de oxígeno alta, fenoles, sulfuros residuales y aceites no

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



recuperables de las aguas residuales de la refinería. El tratamiento biológico se aplica después de la remoción de grasas y aceites y de la precipitación de sulfuros.

Filtros de goteo, procesos de lodos activados, lagunas de oxidación o lagunas de aireación son algunos de los procesos de tratamiento biológico más comúnmente utilizados. La utilización de alguno de estos procesos o la combinación de ellos depende de la naturaleza de las aguas residuales.

Los aceites minerales provocan una demanda alta de oxígeno por lo que 3-4 mg de oxígeno es requerido para la oxidación de 1 mg de hidrocarburo. Las grasas y aceites son resistentes a la digestión anaerobia y cuando se presentan en los lodos, tienen un efecto negativo para el uso de los lodos como fertilizantes.

2.1.4 Situación actual de la industria petrolera en México.

En el año 2001 Petróleos Mexicanos (PEMEX) subió del séptimo al sexto lugar dentro de las empresas petroleras más importantes del mundo. Esta clasificación, cuya fuente es el informe anual de la publicación Petroleum Intelligence Weekly, (Petrol. Intell. Wkly, 2002) se basa en los niveles de reservas y producción, tanto de crudo como de gas, en la capacidad de refinación y en el volumen físico de ventas. De acuerdo con esta publicación, México se ubica en quinto sitio como productor de petróleo y en décimo en cuanto a reservas probadas en crudo.

Con base en los datos más recientes del balance energético nacional (Secretaría de Energía, 2001) Petróleos Mexicanos aporta más del 80 por ciento del consumo de energía primaria del país y casi el 90 por ciento de la producción total. Todos estos factores, entre

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



muchos otros, hacen de PEMEX la empresa que tiene el mayor impacto en la economía de México.

Existen previsiones que indican que la demanda mundial de hidrocarburos se duplicará en los próximos dos decenios, fundamentalmente por la expansión económica que se espera tendrán los países que están en proceso de desarrollo y las nuevas economías de mercado.

Los hidrocarburos continuarán siendo, en el mundo, la principal fuente de energía primaria, cuando menos en los siguientes 20 años (Stell. Jeannie, 2002).

Desde esta perspectiva, la necesidad de fortalecer la industria petrolera en México es impostergable. Para ello es necesaria la adquisición y el desarrollo de tecnologías que se conviertan en un factor importante de reducción de costos y en un elemento fundamental para elevar la capacidad de competencia.

Con ese propósito, se debe incorporar los avances tecnológicos tanto a los procesos productivos como a las líneas de negocios de todo el grupo PEMEX (Asociación de Ingenieros Petroleros de México, 2001).

En el año 2001, los resultados fueron favorables (www.pemex.com). Entre ellos destacan los siguientes:

- La producción de crudo alcanzó su máximo nivel histórico.
- El nivel de contribuciones al gobierno federal rebasó la meta establecida.
- Se obtuvo un cumplimiento del 98 por ciento, con respecto a las metas propuestas en el programa de mejora continua y certificación de calidad ISO, así como en materia de ahorro de energía.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Entre algunas de las metas que fueron previstas para el año 2002 se encuentran las siguientes:

- La intensificación de los programas de exploración de crudo ligero y gas.
- Beneficios de la conclusión de las reconfiguraciones de las refinerías de Cadereyta y Madero, con un incremento de 100 mil barriles diarios en la producción de gasolina.
- La ampliación y modernización del sistema de almacenamiento y distribución de productos, de conformidad con los mayores niveles de operación que se esperan en el futuro.
- Y el aumento de la producción de los petroquímicos de mayor valor en el mercado.

La capacidad de refinación para el año 2001 se muestra en la tabla 2.1.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Tabla 2.2 Capacidad de refinación (miles de barriles diarios) (Petróleos Mexicanos, 2001)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Destilación											
atmosférica de	1524.0	1524.0	1520.0	1520.0	1520.0	1520.0	1525.0	1525.0	1525.0	1559.0	1559.0
crudo											
Destilación al vacío	712.7	712.7	760.7	760.7	760.7	761.7	761.7	757.1	757.1	774.8	773.8
Desintegración	271.5	271.5	331.5	372.0	372.0	377.0	368.0	368.0	368.0	375.0	375.0
Reducción de											
viscosidad	53.0	49.0	91.0	141.0	141.0	141.0	141.0	141.0	141.0	141.0	141.0
Reformación de											
naftas	136.8	136.8	166.8	222.8	222.8	227.8	227.8	226.8	226.8	268.8	268.8
Hidrodesulfuración ^a	562.0	582.0	648.0	648.0	648.0	698.0	698.0	748.0	748.0	808.0	848.0 ^b
Fraccionamiento de											
líquidos	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	-	-	-	-

a. No incluye Cangrejera.

b. Considera la hidrodesulfuradora de residuales de la refinería de Tula, incluida anteriormente en Desintegración.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndolo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.



Se estima que en el año 2006 se estará en condiciones de producir cuatro millones de barriles diarios de petróleo crudo y siete mil millones de pies cúbicos diarios de gas natural, que significan aumentos del 33 y 50 por ciento respectivamente, en comparación con el año 2000, lo cual permitirá atender los requerimientos del país y los de exportación (Baker, 2002). Las condiciones que se enfrentan en los mercados internacionales obliga a trabajar intensamente a la industria petrolera. Sólo con una mayor capacidad para competir se estará en posibilidad de aprovechar las oportunidades de negocios que hagan nuevamente a la industria petrolera altamente rentable.

2.1.4.1 Características de las aguas residuales de la industria petrolera en México.

Las descargas de contaminantes al agua representan menos del 1% de las emisiones y descargas totales. Cerca de 58% son sólidos suspendidos totales (SST), en tanto que 21.6% son grasas y aceites (GyA) y 19.2% corresponden a nitrógeno total (N_{tot}) como se observa en la figura 2.4.

En el año 2001 se descargaron 4,226 toneladas de contaminantes al agua (Petróleos Mexicanos, 2001), específicamente 2,445 de SST, 913 toneladas de GyA, 813 de N_{tot} y 55 toneladas de Otros contaminantes. Durante ese año, 75.9 % de grasas y aceites fueron descargados por cinco centros de trabajo: Las refinerías de Minatitlán (48.6%), Cadereyta (8.5%) y Salamanca (6.8%) y los complejos petroquímicos de Cangrejera (8.0%) y Morelos (4.0%). En cuanto a sólidos suspendidos totales, 65.1% corresponden a seis instalaciones: Las refinerías de Salamanca (15.1%), Minatitlán (12.8%), Cadereyta (11.2%) y Tula (4.5%) y los complejos petroquímicos Morelos (14%) y Cangrejera (7.5%).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Respecto a nitrógeno total, cuatro refinерías generaron 83.5%: Salamanca (21.9%), Tula (21.5%), Cadereyta (21.2%) Minatitlán (18.9%).

En la tabla 2.2 se resume la descarga de contaminantes al agua en el año 2001.

Tabla 2.3 Descargas de contaminantes al agua en el año 2001 (toneladas). (Petróleos Mexicanos, 2001)

	Grasas y Aceites	Sólidos suspendidos totales	Nitrógeno total	Otros
PEMEX Exploración y Producción (PEP)	53	260	5	0
PEMEX Refinación (PR)	651	1,274	689	44
PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB)	53	220	112	7
PEMEX Petroquímica (PPQ)	156	691	7	3
TOTAL	913	2,445	813	58

En la figura 2.3 se muestra gráficamente la aportación de descarga de contaminantes por cada una de las empresas pertenecientes a PEMEX, las cuales son: PEMEX Exploración y Producción (PEP), PEMEX Petroquímica (PPQ), PEMEX Refinación (PR) y PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

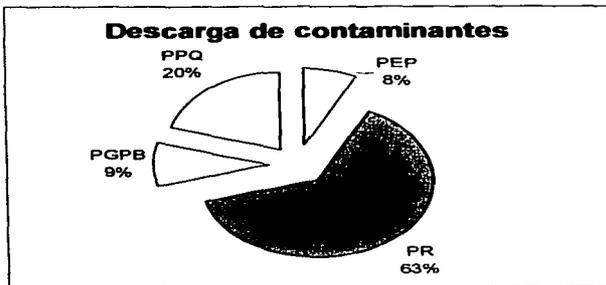


Figura 2.3 Aportación de descarga de contaminantes por empresas de PEMEX (Petróleos Mexicanos, 2001)

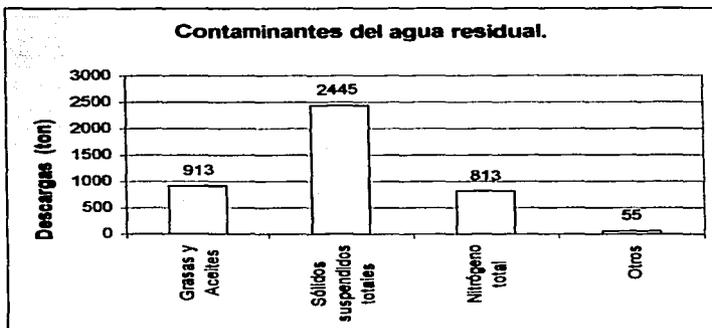


Figura 2.4 Características típicas del agua residual de una refinería (Petróleos Mexicanos, 2001)

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



2.2 Torres de enfriamiento

2.2.1 Tipos de torres de enfriamiento

Existen torres de tiro mecánico y torres de tiro natural, aunque éstas últimas no se utilizan en México.

Torres de tiro mecánico.

En la actualidad se emplean dos tipos de torres de tipo mecánico; el de tiro forzado y el de tipo inducido (Iovi, 1989). En la torre de tiro forzado, el ventilador se monta en la base y se hace entrar el aire en la base de la misma y se descarga con baja velocidad por la parte superior. Esta disposición tiene la ventaja de ubicar el ventilador y el motor propulsor fuera de la torre, sitio muy conveniente para la inspección, el mantenimiento y la reparación de los mismos.

Puesto que el equipo queda fuera de la parte superior caliente y húmeda de la torre, el ventilador no está sometido a condiciones corrosivas; sin embargo, dada la escasa velocidad del aire de salida, la torre de tiro forzado está sujeta a una recirculación excesiva de los vapores húmedos de salida que retoman a las entradas de aire. La torre de tiro inducido es el tipo que se emplea con mayor frecuencia en Estados Unidos y en México. A su vez, esta clase general se subdivide en diseños de contraflujo o flujo transversales, dependiendo de las direcciones relativas de flujo del agua y el aire. Desde el punto de vista termodinámico, la configuración a contraflujo es más eficaz, ya que el agua más fría entra en contacto con el aire más frío.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Cuanto mayores son los intervalos de enfriamiento y más difícil la diferencia útil de temperaturas, tanto más evidentes serán las desventajas del tipo de contraflujo.

El fabricante de torres de flujo transversal puede reducir con eficacia la característica de torre de acercamientos muy bajos incrementando la cantidad de aire.

El aumento en el flujo de aire no se logra necesariamente incrementando la velocidad del mismo, sino sobre todo alargando la torre para aumentar el área de corte transversal para el flujo de aire.

Así pues, es obvio que el llenado para flujos transversales se hace progresivamente más largo en la dirección perpendicular al flujo del aire y más corto en la dirección de éste, hasta que casi pierde su desventaja inherente de la diferencia de potencial. Con todo, al lograr esto se incrementa el consumo de potencial de ventilador.

Por otra parte, la elección económica entre el sistema a contraflujo y el transversal se determina según la eficiencia del relleno, las condiciones de diseño y los costos de construcción de la torre (Perry y Chilton, 1994).

Las torres de tiro inducido con flujo a contracorriente se ejemplifican en la figura 2.5 (McKetta, 1998). La capacidad de enfriamiento podría ser en el intervalo de 2.72×10^{-3} a 3.40×10^{-3} (m^3/s)/ $m^2/^\circ C$ (4 a 5 (gal/min)/ $ft^2/^\circ C$) en un plano de área cuando se usan aguas sucias. Termodinámicamente este arreglo es el más eficiente. Además se pueden obtener grandes intervalos de enfriamiento y los más pequeños acercamientos.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

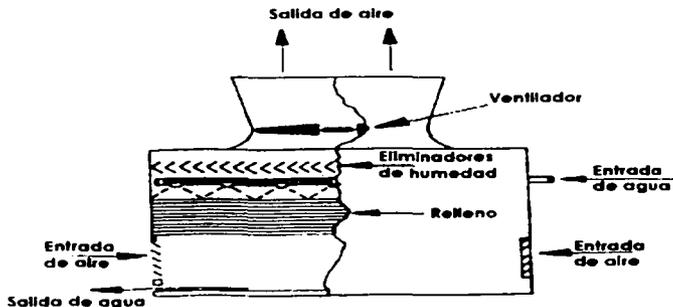


Figura 2.5 Torre de tiro inducido McKetta J.J. (1998)

Una torre de estilo basin vertiente se ilustra en figura 2.6. Generalmente, los colectores son exteriores a la estructura más baja de la vertiente que incluye el basin y previene el derrame del agua que descende de la torre. Un canal para redistribución se monta generalmente sobre un basin que se coloca en el borde con sus cajas de cabeza en un arsenal vertical. El agua fría cruda de la torre inunda el cargamento del basin de 6.79×10^{-3} a 2.04×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) (10 a 30 (gal/min)/ft²) del área del basin. El agua cruda que recircula sobre la torre es $1\frac{1}{2}$ a 4 veces la cantidad de agua de alimentación que circula dentro del basin. Las vertientes del basin se pueden también incorporar con las torres inducidas de contracorriente y las torres atmosféricas de aerosol.

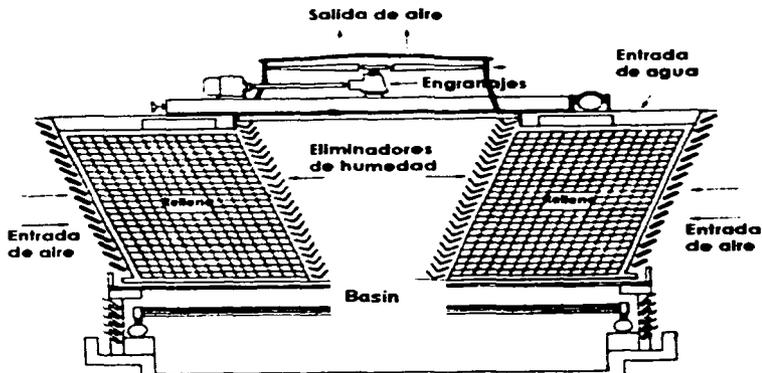


Figura 2.6 Torre de enfriamiento de basin vertiente. (McKetta, 1998)

La torre de enfriamiento con flujo cruzado, que se utiliza predominantemente en enfriamiento en industrias grandes, se ilustra en figura 2.7. El agua se distribuye por la parte superior inundando una placa con boquillas de porcelana, por medio de las que se rocía el agua sobre el empaque. El agua fría requerida en estas industrias es generalmente 2.72×10^{-3} a 3.40×10^{-3} ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) (4 a 5 ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^2$))



Si acercamientos pequeños no son requeridos por algún proceso por ejemplo fraccionado destilación, entonces la temperatura puede elevarse normalmente utilizando el vapor condensando, dando por resultado torres con cargas de 6.79×10^{-3} a 1.02×10^{-2} ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$) (10 a 15 ($\text{gal}/\text{min}/\text{ft}^2$)) (García y Sánchez, 1979).

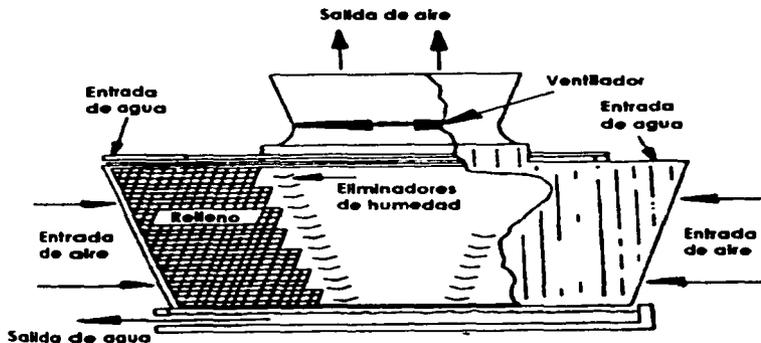


Figura 2.7 Torre de enfriamiento con flujo cruzado. (McKetta, 1998)

Las torres de enfriamiento de humidificación-secado tienen diversos usos. Son del tipo de tiro inducido con flujo doble, en donde el aire entra por ambos lados y cruza el empaque en dirección perpendicular al flujo de agua pasando por una sección central, de la cual se extrae hacia la parte superior mediante el ventilador.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Las plumas visibles que llevaban componentes dañinos más allá de los límites de una planta han sido un problema. Clásicamente, la elevación del apilado del ventilador a un punto de la descarga de 30 o 37 m ha sido la opción de la solución. Al comienzo de los años 70's, una modificación térmica surgió, llamada "trayectoria paralela". El agua caliente entra en las cabezas superiores, fluye por gravedad a través de los tubos aletados dentro de un colector de agua caliente, para finalmente enfriarse en la porción mojada de doble-flujo de la torre (Cortez, 1982).

Aproximadamente el 10 ó 15% del intervalo se distribuye hacia fuera, en las bobinas secas para proporcionar la disminución deseada de la pluma.

Otra aplicación de este tipo de torres es la conservación del agua. En este panorama los requisitos de mantenimiento y de purga de los usuarios exceden fuentes disponibles.

La torre podría ser un esquema exagerado de trayectoria paralela con un gran incremento de la porción seca, o podría ser un radiador o una estructura independiente utilizada en torres relativamente pequeñas, o el agua se podría re-bombear en serie de un radiador a una torre de enfriamiento estándar de agua cruda. Una torre de este tipo se muestra en la figura 2.8.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

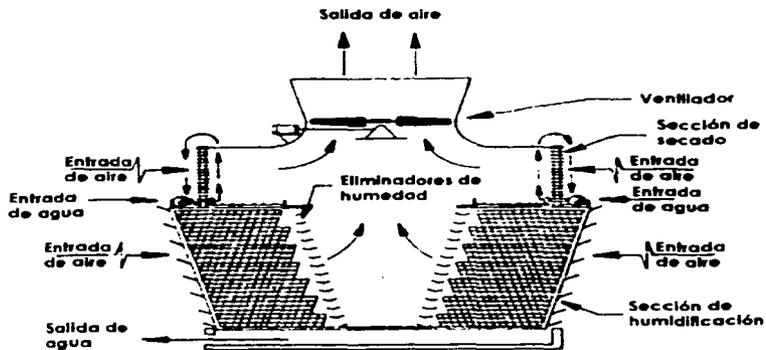


Figura 2.8 Torre de enfriamiento de tipo humidificación-secado (McKetta, 1998).

2.2.2 Calidad del agua requerida en torres de enfriamiento

Los requerimientos de agua de una refinería básicamente pueden considerarse de tres tipos, dependiendo de sus usos y son los siguientes:

1. Agua para calderas
2. Agua para enfriamiento
3. Agua para uso potable

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



El mayor volumen que se utiliza de agua dentro de una refinería, es para fines de enfriamiento (torres de enfriamiento, intercambiadores de calor); las principales limitaciones del uso de este tipo de agua lo constituyen: Sílice, carbonatos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y alcalinidad. Se considera que el agua de enfriamiento debe reunir las siguientes especificaciones generales (Spencer, 1983).

- No debe ser corrosiva.
- No debe formar incrustaciones.
- No debe causar taponamiento ni depósitos orgánicos o inorgánicos en el equipo.

De acuerdo a lo anterior se debe tener un control de tratamiento para el agua de enfriamiento y ésta debe estar dentro del intervalo determinado de dicho control.

El agua de enfriamiento empleada en las plantas de potencia industriales y petroquímicas, deberán reunir las características antes mencionadas, sin embargo, es necesario hacer notar que dichas características dependerán de las fuentes de suministro y de la época del año (Durán y Pérez, 1991).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 2.4 Intervalo de valores para el agua de enfriamiento (Silverstein y Curtis, 1971).

Dureza de calcio:	800 ppm máx. como CaCO₃ controlado por la purga de la torre.
Alcalinidad:	150 a 250 ppm como CaCO₃ controlado con ácido y en equilibrio con el pH.
pH:	7.5-7.8 controlado con ácido y en equilibrio con la alcalinidad al metilo.
Fosfónico Zinc "Phreeguard"	8-15 ppm como fosfato
Dispersante "Optidose 3100"	10-15 ppm
Zinc como Zn²⁺	Total: 2-3 ppm
	Soluble: 1.5-2 ppm
Biodispersante Busperse 48:	45 ppm como producto y choques de 5 minutos.
Biocida Kathon:	100 ppm como producto y choques de 5 minutos cada 15 días.
Biocida Busan 1009	50 ppm como producto y choques de 5 minutos cada 15 días.
Ciclos de concentración	6-7
S.D.T	1300 ppm máximo como CaCO₃
Cloro residual	0.5 ppm, cloración continua.

Control microbiológico.

El proceso industrial requiere para su operación eficiente intercambio de calor, un agua de enfriamiento dentro de ciertos límites de calidad, para lo cual requiere un producto que controle de manera eficiente el crecimiento bacteriológico presente en el agua de enfriamiento. La aplicación de un biodispersante cuyo nombre comercial es busperse 46, ayuda a remover la biomasa fílmica y posteriormente la aplicación por choques de dos bactericidas de amplio espectro que extermine algas, hongos y bacterias y en específico bacterias anaerobias del tipo sulfato reductoras como son el Busan 1009 (nombre comercial) a base de metilbistocianto y el Kathon (nombre comercial) a base de isotiazolininas, son frecuentemente utilizados en el control microbiológico (Rigola, 1999).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Tabla 2.5 Parámetros de control microbiológico para agua de enfriamiento (Rigola, 1999).

Cloración:	0.5 ppm máximo de Cl₂ residual
Busan 1009:	Un choque quincenal y alternado con el Kathon a 50 ppm
Kathon:	Un choque quincenal y alternado con el Busan 1009 a 100 ppm
Busperse 46:	Un choque por semana poco antes de aplicar los biocidas a razón de 45 ppm

Tabla 2.6 Ejemplo de un sistema de tratamiento para agua de enfriamiento (Rigola, 1999).

Producto químico	Función	Dosificación Inicial	Control
Fosfato de zinc	Inhibidor de corrosión	40 ppm	8- 15 ppm
Ácido acrílico	Inhibidor de incrustación	20 ppm	8-15 ppm
Ácido sulfúrico	Control de pH	7.5-7.8 pH	7.5-7.8 pH
Cloro / Bromo	Biocida	0.3-0.5 ppm	0.3-0.5 ppm
Busan-1009, Kathon	Biocida	C / 8 días	
SDT			1300 ppm máx
C.C			9 base calcio
Zinc			1-3 ppm

Los valores de los parámetros de los tratamientos seleccionados son los recomendados para un buen control químico de los sistemas de enfriamiento, cualquier desviación a éstos deberán de manejarse con las acciones necesarias para regresar a los valores establecidos (Rigola, 1999).

Algunos parámetros a considerar son:

- pH bajo (7.0 mín.) Valores menores de 7.0, suspender la dosificación por goteo de ácido sulfúrico, hasta logra el control establecido, si por alguna circunstancia, el pH llegará a bajar a valores menores de 6.0, se podrá lograr el control con la adición de sosa cáustica.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



- pH alto (8.0 máx) Valores superiores al preestablecido, se adiciona más ácido sulfúrico por goteo.
- Cloro (1.0 ppm) Valores mayores de 0.5 ppm, bajar la dosificación en el rotámetro del clorador; es posible que el contenido de cloro en el contenedor se halla terminado, para lo cual se tendrá que proceder al cambio de contenedor de cloro por uno lleno.
- Inhibidor de corrosión (8-15 ppm) Valores superiores al preestablecido suspender la dosificación bajando la carrera de la bomba dosificadora "el exceso del inhibidor no es perjudicial"; se controla por optimización, valores de ausencia de inhibidor, reiniciar la dosificación inicial y continuar con la dosificación por choques.
- Sólidos Disueltos Totales (1300 ppm máx) Valores mayores de 1300 ppm, ordenar realizar purgas de fondo a la torre las veces que sea necesario.
- Ciclos de concentración (9 c.c máx) Valores de 7.5 se logran controlando los sólidos disueltos totales en el valor predeterminado.
- Zinc (3 ppm máx) Valores superiores al preestablecido se debe suspender la dosificación, " el exceso de zinc no es perjudicial, se controla por optimización"; Valores de ausencia de zinc, reiniciar la dosificación del inhibidor de corrosión, ya que el zinc se encuentra implícito.
- Biocida (50 ppm por choque) El biocida se dosifica cada ocho días de manera alternada con otro producto similar (BUSAN-1009, Kathon) por choque y a una concentración de 50 ppm de biocida (no existe control diario para este producto).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Si el valor preestablecido se llegase a ser mayor se tendrá que reiniciar el tratamiento microbiológico y/o identificar la posible contaminación del agua de recirculación con algún producto de proceso.

2.3 Evaluación económica de proyectos.

La parte de análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para realizar el proyecto, cuál será el costo total de operación de la planta (que abarque las funciones de producción, administración y ventas), así como otra serie de indicadores que servirán como base para la parte final y definitiva del proyecto, que es la evaluación económica. El estudio de la evaluación económica es la parte final de toda secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto (Ajenjo, 2000).

2.3.1 Métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo.

Se sabe que el dinero disminuye su valor real con el paso del tiempo, a una tasa aproximadamente igual al nivel de inflación vigente. Esto implica que el método de análisis empleado deberá tomar en cuenta este cambio de valor real del dinero a través del tiempo (Mao, 1986).

2.3.1.1 Método de valor presente neto.

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial y es una medida diseñada para determinar si el rendimiento que se espera de una inversión es mayor o menor que el nivel determinado con anticipación.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Este criterio de evaluación consiste en restar el gasto inicial (Io) del valor presente de los resultados esperados durante el período de inversión (Baca, 2001).

$VPN = \sum R (1+i)^n - Io$	ECUACIÓN 2.1
-----------------------------	--------------

Como se observa en la ecuación anterior, el valor del VPN, es inversamente proporcional al valor de la i aplicada, de modo que como la i aplicada es la tasa de descuento, si se pide un gran rendimiento a la inversión (es decir, si la tasa mínima aceptable es muy alta), el VPN fácilmente se vuelve negativo, y en ese caso se rechazaría el proyecto. En la ecuación del VPN se observa que al ir aumentando la tasa de descuento aplicada en el cálculo del VPN, éste disminuye hasta volverse cero y negativo.

Los cuatro pasos siguientes se requieren para calcular el valor presente neto que se espera de una inversión.

- Paso I Seleccionar una tasa de descuento apropiada (por ejemplo, el costo marginal del capital).
- Paso II Calcular el valor presente que se espera de las entradas de efectivo de la inversión.
- Paso III Calcular el valor presente de las salidas de efectivo que se prevén de la inversión.
- Paso IV Calcular el valor presente neto restando el valor presente de las salidas de efectivo de la inversión del valor presente que se espera de las entradas de efectivo de esa inversión.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



La tasa de rendimiento debe ser la más relevante para la toma de decisiones, entre las que se pueden señalar:

- El costo de capital
- La tasa bancaria
- El costo de oportunidad
- La tasa mínima elegida por la empresa

Si la inversión no se realiza en el tiempo cero, se procede al cálculo de sus valores futuros para el tiempo cero (Meigs, 1970).

$$I_0 = I_{-1} (1 + i) + I_{-2} (1+i)^2 + I_{-3} (1+i)^3 + \dots + I_n (1+i)^n \quad \text{ECUACIÓN 2.2}$$

Cuando se hacen cálculos de pasar, en forma equivalente, dinero del presente al futuro se utiliza una i de interés o de crecimiento del dinero; pero cuando se quieren pasar cantidades futuras al presente, como en este caso, se usa una tasa de descuento, llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se les llama flujos descontados. Sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero. Es claro que para aceptar un proyecto las ganancias deberán ser mayores que los desembolsos, lo cual dará por resultado que el VPN sea mayor que cero. Un valor presente neto positivo, significa que la proposición de inversión tendrá una tasa de rendimiento mayor que la tasa de descuento escogida; si el valor presente neto es negativo se obtendrá una

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



tasa de rendimiento menor que la tasa escogida. Un valor presente neto de cero, a la tasa de descuento escogida, indica que la compañía podría pedir dinero prestado a esa tasa de interés, hacer la inversión, y obtener de las entradas de la inversión exactamente lo suficiente para liquidar el préstamo y el interés. Presentado en otra forma, un valor neto de cero indica que la tasa de rendimiento y la tasa de descuento escogidas son idénticas (Viscione, 1998). Si la tasa de descuento o costo de capital, aplicada en el cálculo del VPN fuera la tasa inflacionaria promedio pronosticada para los próximos años, las ganancias de la empresa sólo servirían para mantener el valor adquisitivo real que ésta tenía en el año cero, siempre y cuando se reinvirtieran todas las ganancias. Con un VPN igual a cero, habrá un aumento de patrimonio de la empresa si la tasa de descuento aplicada para calcularlo fuera superior a la tasa inflacionaria promedio de ese periodo.

Por otro lado, si el resultado es $VPN > 0$, sin importar cuánto supere a cero ese valor, esto sólo implica una ganancia extra después de ganar la tasa de descuento aplicada a lo largo del periodo considerado. Esto explica la importancia que tiene seleccionar una tasa de descuento adecuada. Expresado de otra manera, la inversión es aceptable sobre bases económicas cuando el valor presente neto es positivo, pues promete una tasa de rendimiento mayor que la tasa que se requiere. Por el contrario, si el valor presente neto que se espera es negativo, entonces se debe rechazar la inversión sobre bases económicas, pero otros factores pueden motivar a la empresa a aceptar una inversión que promete un valor presente neto negativo.

Como conclusiones generales acerca del uso del VPN como método de análisis es posible enunciar lo siguiente: (Montaño, 1992)

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



- Se interpreta fácilmente su resultado en términos monetarios.
- Supone una reinversión total de todas las ganancias anuales, lo cual no sucede en la mayoría de las empresas.
- Su valor depende exclusivamente de la i aplicada. Como esta i es la tasa de descuento, su valor lo determina el evaluador.
- Este método nos permite comparar dos proyectos distintos, ya que las inversiones son diferentes.

2.3.1.2 Tasa Interna de Rendimiento. (TIR)

Es un criterio de evaluación basado en la búsqueda de una cierta tasa de actualización tal, que se obtenga una igualdad entre la inversión (I_0) y la suma de los valores actuales de beneficios esperados (Montaño, 1992).

$I_0 = \sum R_n / (1 + i)^n$	ECUACIÓN 2.3
------------------------------	--------------

La tasa interna de rendimiento se define como la tasa que permite que el valor presente que se espera de las entradas en efectivo de una inversión sea igual al valor actual que se espera de las salidas de efectivo de esa inversión; es decir que la tasa interna de rendimiento es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

La tasa interna de rendimiento para un proyecto de inversión es en teoría idéntica al rendimiento de una inversión en obligaciones y, de hecho, la tasa interna de rendimiento se conoce algunas veces como el método de rendimiento (Viscione, 1998).

Se le llama tasa interna de rendimiento porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad.

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



Es decir, se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión. La reinversión total implica un crecimiento tanto de la producción como de la planta, lo cual es imposible. Precisamente, cuando una empresa ha alcanzado la saturación física de su espacio disponible, o cuando sus equipos trabajan a toda su capacidad, la empresa ya no puede invertir internamente y empieza a hacerlo en alternativas externas como la adquisición de valores o acciones de otras empresas, la creación de otras empresas o sucursales, la adquisición de bienes raíces, o cualquier otro tipo de inversión externa. Al grado o nivel de crecimiento de esa inversión externa se le llama tasa externa de rendimiento, pero no es relevante para la evaluación de proyectos, sobre todo porque es imposible predecir dónde se invertirán las ganancias futuras de la empresa en alternativas externas a ella (Baca, 2001).

La evaluación de una proposición de inversión mediante este método, requiere que se calcule la tasa efectiva de interés (tasa de rédito) que hará igual al valor presente de las entradas con el valor presente de las salidas esperadas. La tasa de rédito es la tasa de utilidad o rendimiento sobre la inversión que se lograría si la proposición de inversión fuese aceptada por la gerencia y los beneficios se realizasen exactamente de acuerdo a las cantidades previstas en el momento esperado (Meigs, 1970).

Este método consiste básicamente en probar varias tasas hasta obtener la tasa que permite que el valor presente de las entradas de efectivo previstas de una inversión iguale al valor presente de las salidas de efectivo que se requieren para la inversión.

Una vez que se obtiene la tasa de rendimiento, se la compara con la tasa que requiere la empresa (o sea, el costo marginal del capital). Si la tasa interna de rendimiento es mayor

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



que la tasa que se requiere, entonces la inversión es aceptable desde el punto de vista de la economía. Si la tasa interna es menor que la tasa que se requiere, entonces la inversión se debe rechazar sobre bases económicas. La gerencia debe preferir la situación de inversión que prometa la mayor tasa de utilidad; existiendo una situación de préstamo, se debería elegir la tasa efectiva más baja (Viscione, 1998). Este método presenta la ventaja de comparar fácilmente varios proyectos mediante su tasa de rentabilidad. La tasa interna de rendimiento debe ser mayor que el costo de capital de las empresas. La limitación básica de este método es que supone que los ingresos generados por el proyecto se reinvertirán a la misma tasa de rendimiento (Montaño, 1992).

Los métodos de evaluación de proyectos: Valor presente neto y la tasa interna de rendimiento proporcionan la misma información respecto a la aceptabilidad económica de la oportunidad de inversión de una empresa. Es decir, estos procedimientos indican si la inversión es aceptable económicamente o no. Los dos procedimientos darán siempre indicaciones idénticas de aceptación o rechazo de una inversión específica; lo que se ejemplifica con la siguiente ecuación.

$$\text{VALOR PRESENTE NETO} = \text{VALOR PRESENTE DE LAS ENTRADAS} - \text{VALOR PRESENTE DE LAS SALIDAS}$$

Ecuación 2.4

Para que el valor presente neto sea positivo, el valor presente de las entradas debe ser mayor que el valor presente de las salidas. La tasa interna de rendimiento es la tasa que permite que el valor presente de las entradas iguale al valor presente de las salidas, y si esto es así el valor presente neto debe ser cero. En consecuencia, se puede definir la

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiéndalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



tasa interna de rendimiento como la tasa que permite que el valor presente neto sea igual a cero. Si el valor presente neto es positivo a la tasa que requiere la empresa, entonces la tasa interna de rendimiento debe ser mayor que esa tasa. La conclusión es que si se trata de determinar si una inversión promete un rendimiento superior a determinada tasa que se requiere, el valor presente neto y la tasa interna de rendimiento son dos métodos para obtener esa útil información. Viendo la ecuación 2.4 de otra manera, estos métodos proporcionan siempre la misma indicación con respecto a la aceptabilidad económica de un proyecto específico y además proporcionan información que es útil para tomar decisiones en cuanto a una inversión (Viscione, 1998).

Todo lo que puedas hacer o soñar, comiénzalo. La osadía lleva en sí genio, poder y magia.

Johann Wolfgang von Goethe



CAPITULO 3. CASO DE ESTUDIO

3.1 Tren de tratamiento.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en estudio consta de procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos. En la figura 3.1 se presenta el esquema del tren de tratamiento. Es importante destacar que el sistema de "Stripping", cuyo objetivo es la eliminación de amoníaco, fue creado modificando un reactor biológico aprovechando el sistema de aireación. También es conveniente señalar que el actual sistema de coagulación-floculación había sido concebido para funcionar como un ablandador bajo el principio del proceso cal-soda.

La descripción detallada sobre la eficiencia del funcionamiento actual de la PTAR se encuentra en el siguiente capítulo el cual esta precisamente enfocado al estudio técnico del funcionamiento de la PTAR.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

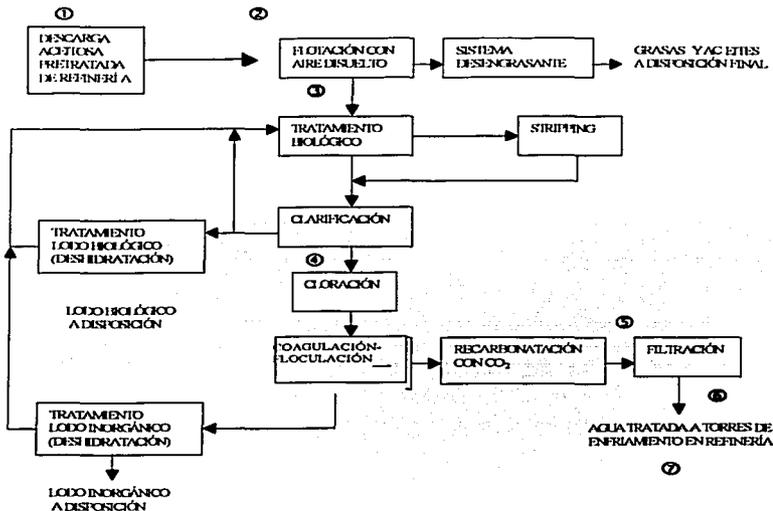


Figura 3.1 Diagrama de bloques del esquema actual de tratamiento en la PTAR de estudio

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



A continuación se hace una descripción específica de cada una de las etapas que componen el tren de tratamiento.

3.1.1 Cribado del Influyente:

El drenaje aceitoso de la refinería, que ya ha recibido un tratamiento previo en la misma, al llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales pasa por una criba estática para remover las partículas suspendidas que pudieran afectar la eficiencia de los procesos subsiguientes.

Dicha criba está ubicada a la entrada de la caja de distribución del influente hacia el proceso de eliminación de grasas y aceites.

3.1.2 Eliminación de Grasas y Aceites:

Para la eliminación de grasas y aceites del influente de refinería, la PTAR cuenta con un proceso de flotación tipo aire disuelto (DAF). En general, el proceso de flotación es un proceso sólido-líquido o líquido-líquido que se aplica a las partículas menos densas que el líquido que las contiene con el fin de separarlas del mismo.

En el sistema de flotación tipo DAF se reduce aún más la densidad de las partículas acelerando la velocidad ascensional de las mismas mediante la adición de aire disuelto al equipo de flotación a través de difusores de burbujas finas (denominadas microburbujas); con lo cual se logra incrementar considerablemente la superficie de contacto aire-partícula acelerando en gran medida la diferencia de densidades con el agua, incrementando por lo tanto la velocidad de ascensión de dichas partículas.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Las microburbujas se producen a través de la técnica conocida de presurización. Estas burbujas se producen manteniendo una solución enriquecida en aire disuelto bajo una presión determinada. El agua que se utiliza como solución puede ser agua cruda ó una recirculación de agua tratada. En este caso se está recirculando agua tratada.

El Sistema de Flotación por Aire Disuelto incluye un sistema de compresión de aire para alimentar al tanque donde se encuentra la solución, así como un sistema de control que permite al sistema completo trabajar en automático.

En esta etapa del proceso se permite la reacción de agentes acomplejantes de los contaminantes que aún se encuentran en solución o en suspensión, y de esta forma se logra su remoción. El agua es alimentada a la etapa de floculación en donde es mezclada con aditivos químicos para mejorar su separación. De la etapa de floculación el agua se lleva a la cámara de entrada del flotador, en donde se inyecta aire saturado a presión mezclado con el efluente del mismo flotador.

El aire saturado que se encuentra a 6 bars de presión al entrar a la cámara de flotación disminuye su presión a la presión ambiental produciendo una gran cantidad de burbujas finas.

3.1.3 Sistema de Tratamiento Biológico:

El proceso biológico que se utiliza en esta planta es un sistema aerobio avanzado de lodos activados (UNITANK®), el cual trabaja en forma secuencial alternando los ciclos de operación de los compartimientos (www.wastewater.com).

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



El sistema consiste de dos trenes que trabajaran en paralelo con la mitad de flujo de cada uno de ellos. A su vez cada uno de los trenes incluirá 3 compartimientos en serie, según se muestra en la figura 3.2.

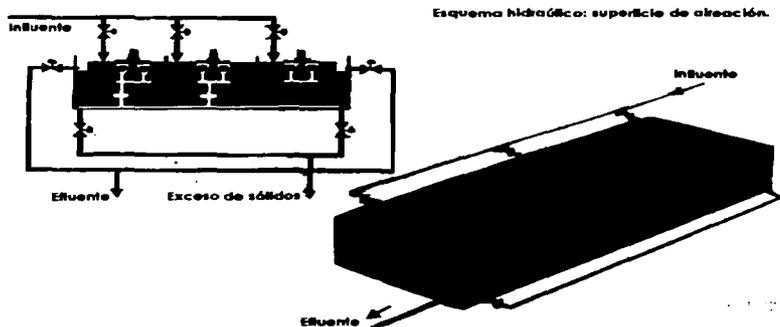


Figura 3.2 Sistema Biológico UNITANK (www.wastewater.com)

Nota: El agua residual puede ser alimentada a cada compartimiento. El efluente tratado es descargado a través del flujo superior. El exceso de biomasa puede ser removido de cada uno de los compartimientos.

En cada etapa del ciclo de operación dos compartimientos están en la etapa de aireación y uno en la etapa de sedimentación.

- 1) En los compartimientos de aireación, los lodos activados son mezclados con el agua cruda en presencia de oxígeno; el cual es suministrado mediante difusores.

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



La aireación tiene dos funciones principales: Suministrar oxígeno para la respiración de los microorganismos y mantener los flocúlos microbiales en un estado de agitación continua, para asegurar el máximo contacto entre la superficie del floculo y el agua cruda, necesario para que se lleve a cabo la oxidación de materia orgánica.

Los lodos activados descompondrán la materia orgánica en parte para formar CO₂ y agua y, en parte produciendo biomasa.

- 2) En el compartimiento de sedimentación el lodo producido sedimenta en el fondo del clarificador y es separado del líquido por gravedad; siendo descargado el efluente clarificado a través de un vertedero.
- 3) Los microorganismos en exceso, también llamados "lodos en exceso", son removidos del compartimiento de sedimentación para mantener la calidad de lodos en el nivel adecuado.

Los tres compartimientos del UNITANK[®] están hidráulicamente conectados por una apertura en la pared común entre ellos. Cada compartimiento está equipado con un sistema de aireación, mediante difusores de burbuja fina. Además, los compartimientos exteriores, denominados A y C cuentan con vertederos para la descarga del efluente clarificado.

Esto significa que cada uno de los compartimientos exteriores puede funcionar como reactor aerobio o como compartimiento de sedimentación (clarificador). El exceso de biosólidos producidos puede ser removido de cada uno de los compartimientos exteriores. Se puede alimentar el agua cruda a cada uno de los compartimientos exteriores.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Tal como en el sistema convencional de lodos activados, la operación del UNITANK® es continua en cuanto al sistema global, ya que el efluente a tratar siempre será alimentado a alguno de los compartimientos. Además este sistema trabaja de acuerdo a una operación cíclica, la cual consiste en una secuencia de dos fases principales y dos fases intermedias más cortas.

UNITANK. Sistema aerobio simple
Operación cíclica
con fase intermedia

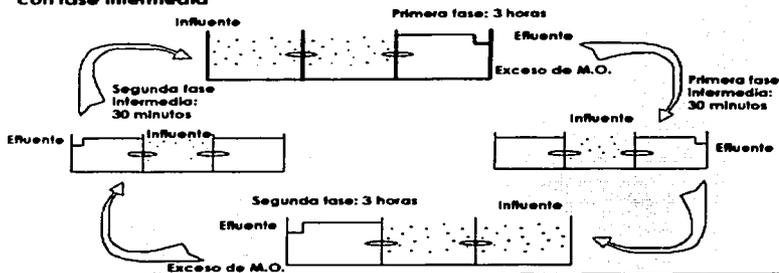


Figura 3.3 Fases del sistema biológico www.wastewater.com

Primera fase principal.

La primera fase principal tiene como objetivo absorber los compuestos orgánicos y degradarlos parcialmente, lo que se conoce como proceso de "acumulación". El agua cruda es alimentada al compartimiento exterior A, el cual está aireado. El agua cruda de entrada es mezclada con los lodos activados.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Del compartimiento A, el también llamado licor mezclado (mezcla de lodo activado y agua) fluye al compartimiento central, llamado B; el cual se encuentra continuamente aireado. Ahí el lodo descompone aún más los compuestos orgánicos que son alimentados y absorbidos en el compartimiento A. Este proceso es llamado "regeneración". Finalmente, el licor mezclado llega al compartimiento exterior C; el cual no se encuentra aireado ni mezclado, con lo cual se crean las condiciones idóneas para la sedimentación del lodo biológico. El lodo sedimenta por gravedad en el fondo del compartimiento, mientras que el agua clarificada se descarga a través del vertedero. El exceso de biosólidos se remueve del compartimiento de sedimentación C mediante las bombas de lodo biológico, para enviarse a deshidratación. Para prevenir el agotamiento del lodo en los compartimientos A y B, y la acumulación del mismo en el compartimiento C; la dirección del flujo se cambia después de 120 a 180 minutos de operación, lo cual lleva a la segunda fase principal.

Segunda fase principal.

La segunda fase principal es similar a la primera fase principal y tiene el mismo objetivo, excepto que la dirección de flujo se invierte. Cada fase principal es seguida de una fase corta intermedia. La función de esta fase intermedia es convertir el compartimiento de aireación a compartimiento de sedimentación. El agua cruda es alimentada al compartimiento B (central), mientras que los dos compartimientos exteriores están en etapa de sedimentación. La principal diferencia entre el sistema convencional de lodos activados y el sistema UNITANK[®] es la operación cíclica, donde la alimentación a los compartimientos y la función de los mismos es cambiada continuamente.

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

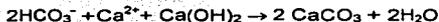
Richard Carlson



3.1.4 Suavización en frío:

Al realizar la suavización de un agua, lo que se busca es reducir la dureza presente en la misma (Davis y Cornwell, 1991).

Esto se logra por medio de una descarbonatación en frío, es decir se aprovecha la alcalinidad presente en el agua, ya que al agregar cal al sistema se produce la siguiente reacción:



El carbonato de calcio con que se trabaja tiene a las temperaturas normales una solubilidad próxima a las 30ppm CaCO_3 (Rodier, 1990); por lo que al agregar la cal, se produce una reacción que aprovecha la alcalinidad presente en el agua, precipitando la mayoría de la dureza como CaCO_3 .

Además, se produce la siguiente reacción con la dureza magnésica:



El CaCO_3 como ya se ha dicho tiene una baja solubilidad, pero el MgCO_3 es soluble, por lo que en este estado no se le podrá eliminar del sistema. Pero con un exceso de cal, la reacción se completa de la siguiente forma:



Siendo ambos, el CaCO_3 y el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ insolubles, complementándose por lo tanto la suavización.

Una característica particular del cristal de CaCO_3 , es que en presencia de otros cristales de CaCO_3 , estos actúan como catalizadores de la precipitación, incrementándose considerablemente la velocidad de precipitación del conjunto.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

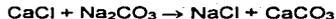
Richard Carlson



La PTAR de estudio cuenta con un reactor-clarificador del tipo "contacto de sólidos", donde los lodos ya precipitados (CaCO_3) se vuelven a poner en contacto con lodos que recién se están formando, logrando así que se incremente la velocidad de precipitación y se reduzca de manera significativa el área necesaria para la clarificación.

Debido a que en el caso de estudio la dureza a eliminar es superior a la alcalinidad contenida en el agua expresada en ppm de CaCO_3 , y lo que se quiere es eliminar toda la dureza; se agrega al sistema una fuente adicional de alcalinidad para eliminar también la dureza permanente asociada a sulfatos y cloruros principalmente (dureza de no carbonatos).

Esta eliminación se realiza de acuerdo a las siguientes reacciones:



En el reactor-clarificador de contacto de sólidos, el agua a tratar ingresa en una zona central del reactor. Antes de ingresar al reactor, se le adiciona al agua el reactivo que proporciona alcalinidad adicional (Carbonato de Sodio).

En la zona de reacción se agrega el reactivo suavizante (Cal), el reactivo que favorece la remoción de sílice es el óxido de Magnesio y el reactivo floculante (polielectrolito), todos estos reactivos se ponen en contacto con el agua a tratar y con los lodos de recirculación.

Los lodos sedimentan en una fosa, donde se recolectan para ser extraídos del reactor.

El agua clarificada se recolecta en un vertedero periférico, descargándola al tanque de recarbonatación.

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



3.1.5 Recarbonación de CO₂:

Teniendo en cuenta que el agua suavizada presenta un pH del orden de 10 a 10.5, como paso siguiente se requiere realizar una neutralización de la misma. Para ello y buscando además una recarbonación del agua descarbonatada en la suavización, se utiliza como agente neutralizante a emplear el bióxido de carbono. Desde los reactores-clarificadores el agua suavizada pasa por gravedad hacia el tanque de recarbonación, donde ocurre la mezcla con el bióxido de carbono gas; el cual es suministrado desde el tanque de almacenamiento a través de una red de difusores instalados en el tanque de recarbonación. Dicho tanque esta agitado para favorecer la distribución homogénea y el contacto del bióxido de carbono con el agua. La dosificación del CO₂ es automática en función del pH que se mida en el tanque de recarbonación.

3.1.6 Cloración:

El efecto buscado en esta etapa es un abatimiento significativo de gérmenes expresado en número más probable de coliformes por cada 100 ml. De acuerdo a las normas de descarga exigidas en México (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1996) respecto a coliformes, se hace necesario considerar una etapa de desinfección con cloro.

En el sistema que se utiliza, la dosificación de cloro se realiza en alimentación del agua clarificada del tratamiento biológico a los reactores clarificadores.

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Se agrega también en la línea de alimentación de agua recarbonatada al proceso de filtración, lo cual permite la concentración deseada de cloro residual en el agua filtrada para prevenir la formación de microorganismos.

El sistema de suministro de cloro incluye el dosificador, tanque de cloro, eyector, difusor para tubería, bomba de ayuda, tuberías y accesorios.

3.1.7 Filtración con Arena:

Con el fin de retener los sólidos más pequeños que lograron fugarse del reactor clarificador, se utiliza un sistema de filtración con arena tipo multimedia.

La PTAR de estudio tiene filtros a presión que usan como material filtrante arena, antracita y gránate. El agua a tratar atraviesa el medio filtrante en sentido descendente, ingresando por la parte superior por medio de un distribuidor y es recolectado en la parte inferior por un falso fondo con coladera uniformemente distribuidas. Estos filtros trabajan en paralelo y su operación es totalmente automática.

A medida que el filtro se va colmatando se incrementa la presión diferencial en el mismo; al llegar a un valor predeterminado, se envía una señal para comenzar la secuencia de retrolavado de dicho filtro.

3.1.8 Deshidratación de Lodos

En esta planta se emplean filtros de tipo prensa para la deshidratación de los lodos, tanto para los que provienen del tratamiento fisicoquímico, que es principalmente carbonato de calcio; como para los que provienen del tratamiento biológico.

A medida que sentimos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Para este acondicionamiento se aplica un polielectrolito del tipo catiónico, en dosis que van de 4 a 5 kg de polímero seco por tonelada de lodo biológico seco; y dosis de 0.5 a 1.5 kg de polímero seco por tonelada de lodo inorgánico seco.

Este polielectrolito tiene una alta eficiencia, formando "flóculos" voluminosos de fácil deshidratación, y para facilitar su manejo, se maneja en forma de solución al 0.1% de concentración.

El equipo de preparación de la solución de polielectrolito consiste en tres tanques con pared común. En el primer tanque se hidrata el polímero con agua y se diluye a la concentración deseada, en el segundo tanque se le da un tiempo de maduración (de 30 a 60 minutos) para lograr que se desdoble completamente la cadena de polímero, y el tercer tanque es el que contiene el polímero listo para la dosificación. Cada uno de los tanques cuenta con un agitador, y la operación del sistema de preparación de polímero es completamente automática.

Los efectos principales que se obtienen con este acondicionamiento son:

- Buena floculación gracias a las cadenas ramificadas largas
- Fuerte disminución de la resistencia específica del lodo, permitiendo un mejor filtrado del líquido intersticial. Los "flóculos" esponjosos e hidrófilos incrementan el factor de compresibilidad del lodo.

3.2 Características del influente de la PTAR.

Las características que debe reunir el influente a tratar y el agua tratada y que se tomaron como bases para el diseño de la PTAR, son las siguientes:

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



Tabla 3.1 Características del influente y efluente de la PTAR de estudio.

	ENTRADA	SALIDA
DQO(mg O ₂ /L)	870	80
DBO(mg O ₂ /L)	178	20 máx.
FENOLES (mg/L)	4	0.5
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	60	2 máx.
NITRÓGENO TOTAL (mg/L)	23	16 máx.
SOL. SEDIM. TOT. (mg/L)	20	0
SOL. SUSP. TOT. (mg/L)	270	0*
SDT (mg/L)	2302	2145
DUREZA Ca ⁺² (mg/L CaCO ₃)	236	50 máx.
DUREZA Mg ⁺² (mg/L CaCO ₃)	189	80 máx.
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO ₃)	425	130 máx.
SÍLICE (mg/L)	98	40 máx.
FOSFATOS (mg/L)	0.08	1 máx.
pH	6 a 9	8 máx
CONDUCT. (micromhos/cm)	3100	2900
ALCALINIDAD TOTAL (mg/L CaCO ₃)	330	130 máx.
ALC. FENOFTALEINA (mg/L CaCO ₃)	32	15
TEMPERATURA (°C)	12 a 20	12 a 20

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A medida que sintamos lo divino de lo ordinario, nuestra vida se volverá bastante extraordinaria.

Richard Carlson



CAPITULO 4. EVALUACIÓN TÉCNICA.

La evaluación técnica de la PTAR consistió en cuantificar la eficiencia real de operación de cada uno de los sistemas que componen el tren de tratamiento y, comparar dicha eficiencia real contra la eficiencia específica de las bases de diseño. La eficiencia de operación se evaluó en términos de la disminución de los valores de concentración de parámetros seleccionados de calidad del agua para cada sistema. Adicionalmente se realizaron otras actividades para evaluar el funcionamiento actual de la planta con respecto a lo esperado de acuerdo con el diseño.

La metodología para realizar la evaluación técnica fue la siguiente:

1. Entrevista con el personal correspondiente para definir la problemática y conocer los trabajos previos que se han realizado al respecto.
2. Levantamiento en planta.
3. Recopilación de la información existente:
 - a. Bases de diseño.
 - b. Memorias de cálculo
 - c. Planos.
 - d. Registros de análisis de la calidad de las corrientes.
4. Análisis de la información existente para determinar los estudios que se requieren realizar.
5. Caracterización de corrientes
 - a. Muestreo

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



-
- b. Análisis
6. Cotejo de las características de diseño con las instalaciones físicas:
 - a. Dimensiones de tanques.
 - b. Especificaciones de los equipos electromecánicos.
 - c. Especificaciones de equipos en general.
 7. Revisión y análisis de las memorias de cálculo de acuerdo con las bases de diseño.
 8. Análisis de las condiciones actuales de las corrientes con respecto a las instalaciones físicas.
 9. Revisión y análisis de la operación de los sistemas.
 - a. Revisión y análisis de las bitácoras de operación.
 - b. Entrevista con los operadores.
 10. Elaboración del diagnóstico
 - a. Diagnóstico.
 - b. Propuesta de soluciones.

4.1 Plan de muestreo y análisis.

Los análisis que se realizaron fueron del agua residual de la refinería, del agua tratada en la llegada a la refinería y en los puntos clave de la PTAR. Del lunes 30 de septiembre al lunes 7 de octubre de 2002 se realizaron muestreos cada cuatro horas en cinco puntos dentro de la PTAR y en dos puntos dentro de la refinería.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



La localización y descripción de cada uno de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Localización y descripción de los puntos de muestreo

NO. DE PUNTO DE MUESTREO	NOMBRE	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.	SALIDA REFINERÍA	Dentro de la refinería	El RF se encuentra en el área de efluentes de la refinería. La llave de muestreo se localiza en la tubería que envía el agua de la refinería a la PTAR
2.	INFLUENTE ACEITOSO	PTAR	Llave localizada en la tubería de alimentación al DAF (en medio de los dos tanques DAF)
3.	EFLUENTE DEL DAF	PTAR	Llave localizada en la tubería que distribuye el efluente del DAF a los sistemas biológicos UNITANK
4.	EFLUENTE DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO TREN NORTE	PTAR	Canaleta de los sistemas de recolección de agua clarificada en los extremos del sistema UNITANK, la colección de la muestra se realiza en la canaleta del compartimento que se encuentre en la fase de decantación
5.	EFLUENTE DEL TRATAMIENTO TERCARIO	PTAR	Canaleta de agua a la salida del sistema de recarbonatación
6.	EFLUENTE REFINERÍA A	PTAR	Llave localizada en la tubería de bombos hacia la refinería
7.	LLEGADA A REFINERÍA	Dentro de la refinería	Llave localizada en la tubería de llegada de agua tratada en la refinería

Con las muestras simples colectadas cada cuatro horas se preparó una muestra compuesta, la cual fue enviada para su respectivo análisis de calidad fisicoquímico a las instalaciones de un laboratorio acreditado ante la EMA y la CNA.

Cada una de las 7 muestras compuestas tomadas en los 7 diferentes puntos de muestreo establecidos, fue enviada oportunamente a las instalaciones del laboratorio para que le efectuaran los análisis fisicoquímicos previstos. Los resultados obtenidos se utilizaron para realizar la evaluación técnica de la planta.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



4.2 Flujo.

En la figura 4.1 se presentan los valores de flujo de agua que es enviada a la PTAR. De dicha gráfica se observa que el flujo de agua se encuentra en el intervalo de 35 a 41 L/s siendo el valor promedio de 39L/s. Este valor de flujo es 80% más bajo del valor de diseño de la PTAR.

De acuerdo con el personal de operación de la PTAR, ha sido necesario operar a este flujo tan bajo porque, como se verá en los resultados de las siguientes secciones, la PTAR no es capaz de eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales. Este flujo de 39 L/s se ha establecido como el mínimo para continuar operando la PTAR.

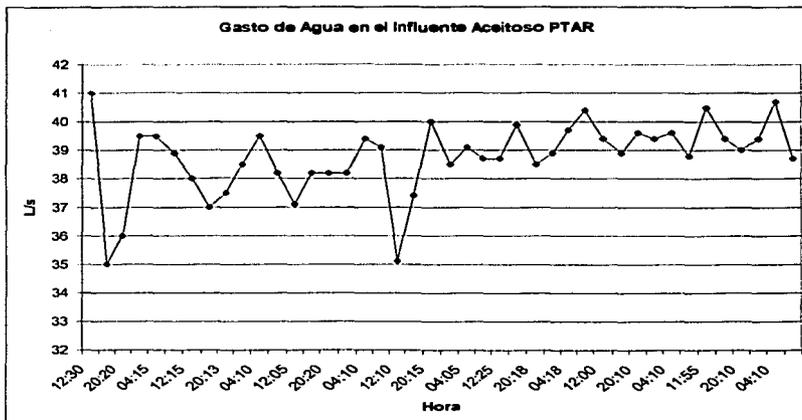


Figura 4.1 Flujo del Influyente de la PTAR

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



4.3 Evaluación de la calidad del agua en la PTAR.

En las figuras 4.2 a 4.14 se presentan los perfiles de comportamiento de los diferentes parámetros analizados en las muestras compuestas tomadas para cada uno de los 7 puntos de muestreo, los cuales incluyen los puntos establecidos a lo largo del tren de tratamiento de la PTAR, así como el efluente de la refinería y el influente de agua tratada a la refinería.

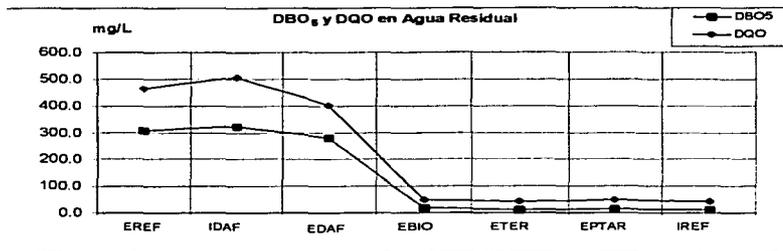


Figura 4.2 Variación de las concentraciones de DQO y DBO₅ en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la gráfica anterior es posible observar que el valor de entrada a la PTAR de DBO₅ es mayor al establecido en las bases de diseño (DBO₅ = 176 mg O₂/L), lo que representa el principal problema por el cual no se puede llevar a cabo su eliminación total. De igual forma cabe señalar que la refinería envía a la PTAR agua residual con bajos valores de DQO (menor a lo establecido en las bases de diseño, DQO = 870 mg O₂/L).

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

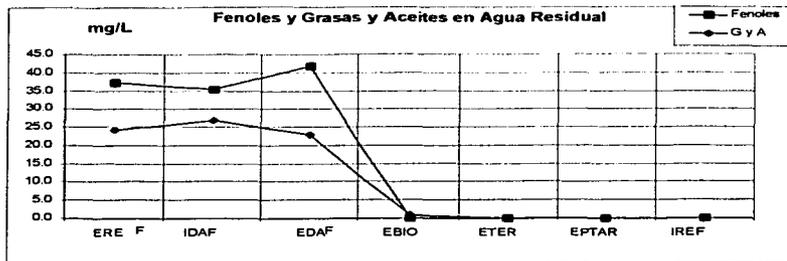


Figura 4.3 Variación de las concentraciones de fenoles, grasas y aceites en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura 4.3 el valor del influente a la PTAR en concentración de fenoles excede al de las bases de diseño en un 833%, y el efluente de la misma retorna a la refinería dentro de las especificaciones de diseño; se observa que la eliminación de fenoles se lleva a cabo en el tratamiento biológico. Las grasas y aceites no presentan ninguna desviación respecto a lo establecido en el diseño.

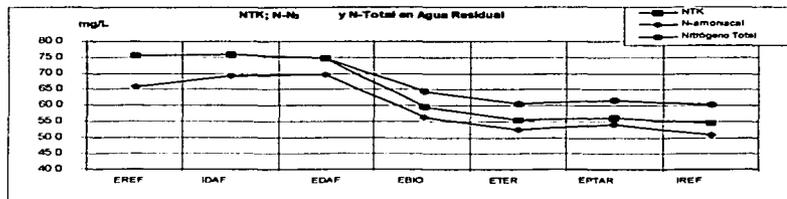


Figura 4.4 Variación de las concentraciones de nitrógeno (N_T, NTK, N_{NH4+}) en el tren de tratamiento de la PTAR.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.



En la figura 4.4 se observa que el nitrógeno presente en el agua residual se atribuye principalmente a la presencia de compuestos amoniacales; siendo éste uno de los parámetros con los que incumple la calidad de agua esperada posterior al su tratamiento en la PTAR, es decir que, sólo existe una disminución entre el 10 a 15% de nitrógeno entre el agua residual que la refinería entrega a la PTAR, con la que la PTAR entrega a la refinería; y si bien es cierto que la refinería envía agua fuera de especificación con respecto al diseño, con su esquema actual de operación la PTAR no puede eliminar el exceso de nitrógeno que se le envía.

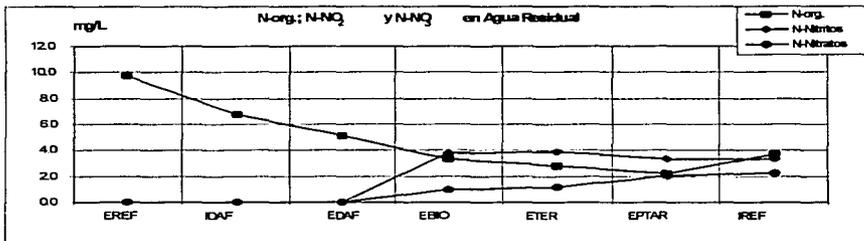


Figura 4.5 Variación de las concentraciones de nitrógeno (N-org, N-Nitro₂, N-Nitro₃) en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura anterior es notorio que la actividad nitrificante (nitritante + nitratante) en el sistema de tratamiento biológico es escasa ya que la generación de nitritos y nitratos es muy poca. Cabe señalar la evaluación de nitrógeno en el presente estudio se llevó a cabo en todas sus formas posibles, esto es: Nitrógeno total, nitrógeno total Kjeldhal, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos.

Cuando está suficientemente oscura, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

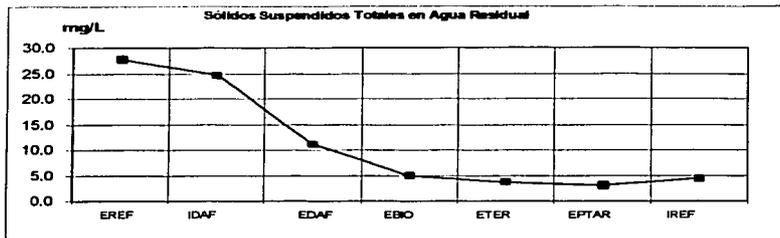


Figura 4.6 Variación de las concentraciones de sólidos suspendidos totales en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura 4.6 se aprecia que la concentración de los sólidos suspendidos totales no se disminuye al valor establecido en las bases de diseño, a pesar de que éstos son enviados por parte de la refinería en 1/10 de la concentración convenida, la eliminación de dichos sólidos se lleva mayoritariamente en el DAF; sin embargo es importante destacar que es altamente factible que la PTAR pueda resolver este problema con adecuaciones al tren de tratamiento que son comparativamente menores a las que implica el problema de eliminación de nitrógeno.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

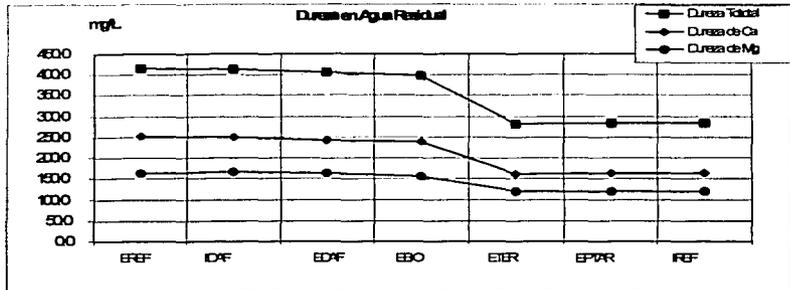


Figura 4.7 Variación de las concentraciones de dureza en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura anterior se observa que la calidad del agua en lo que respecta a dureza total, dureza Ca^{2+} , y de dureza de Mg^{2+} ; está fuera de las especificaciones de diseño, 228% con respecto a la dureza de Ca^{2+} , 50% en términos de dureza de Mg^{2+} y 119% en cuanto a dureza total; y de igual forma que los sólidos suspendidos totales el problema de dureza del agua se puede resolver con las adecuaciones necesarias al tren de tratamiento.

Cuando esté suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

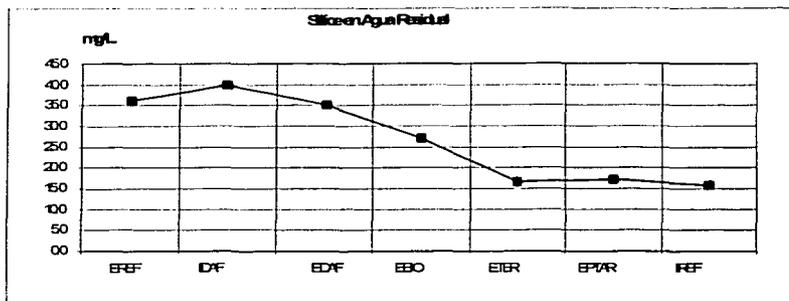


Figura 4.8 Variación de las concentraciones de sílice en el tren de tratamiento de la PTAR.

En el caso de sílice (figura 4.8) la concentración con que actualmente es enviada, cumple con la calidad requerida en el agua de retorno, es decir que, bajo las actuales especificaciones establecidas para el efluente proveniente de la PTAR, dicho parámetro no requiere ser disminuido en concentración dentro de las instalaciones de la PTAR.

Cuando está suficientemente oscura, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

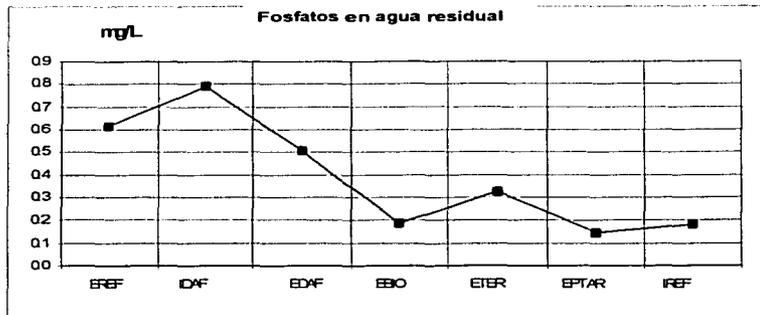


Figura 4.9 Variación de las concentraciones de fosfatos en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura anterior se observa que la concentración en el agua residual de fosfatos cumple con lo establecido en las bases de diseño, es decir que, el no excede el valor de 0.8 mg/L en el caso del influente y el de 1 mg/L para el efluente de la PTAR, por lo que este parámetro no representa ningún problema para considerar que el agua residual tratada pueda ser reutilizada en alguna de las áreas de oportunidad.

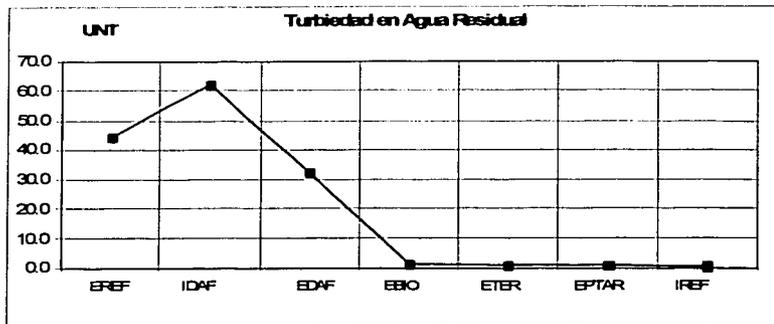


Figura 4.10 Variación de los valores de turbiedad en el tren de tratamiento de la PTAR.

En el caso de la turbiedad en el agua residual es posible observar en la figura 4.10 que con el actual sistema de tratamiento del agua que tiene la PTAR este parámetro cumple en su totalidad con lo establecido en las bases de diseño y su comportamiento es predecible ya que al entrar a la PTAR presenta una alta concentración y conforme pasa las diferentes etapas de tratamiento ésta va disminuyendo hasta quedar prácticamente en cero.

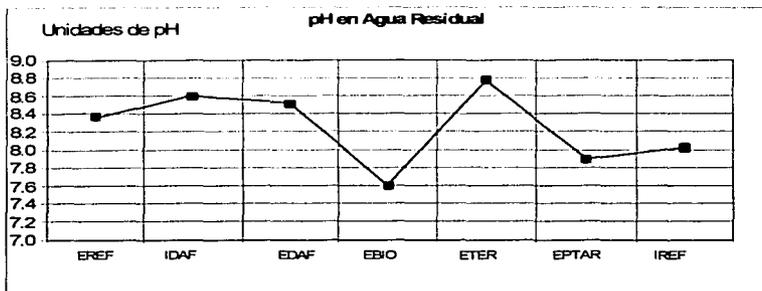


Figura 4.11 Variación de los valores de pH en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura 4.11 se aprecia que el pH del agua residual en el influente de la PTAR es de aproximadamente 8.4, valor que se encuentra en el intervalo establecido en las bases de diseño que es de 6 a 9 y que conforme el agua es tratada en las diferentes etapas del tren de tratamiento el valor comienza a disminuir, pero en la salida del tratamiento terciario existe un aumento en el valor del pH debido a la adición de una solución de NaOH que se utiliza principalmente en el sistema stripping para la remoción de nitrógeno; sin embargo este valor es disminuido para cumplir con la calidad de agua requerida por la refinería.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

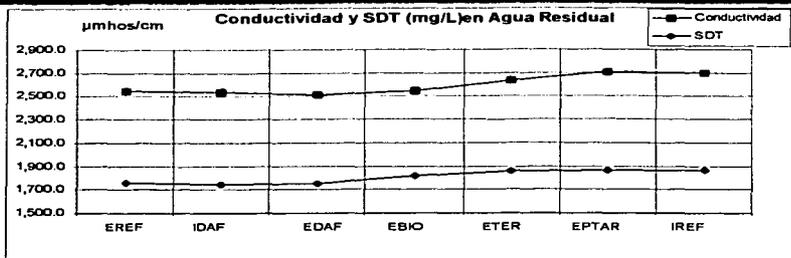


Figura 4.12 Variación de los valores de conductividad y de la concentración de sólidos disueltos totales en el tren de tratamiento de la PTAR.

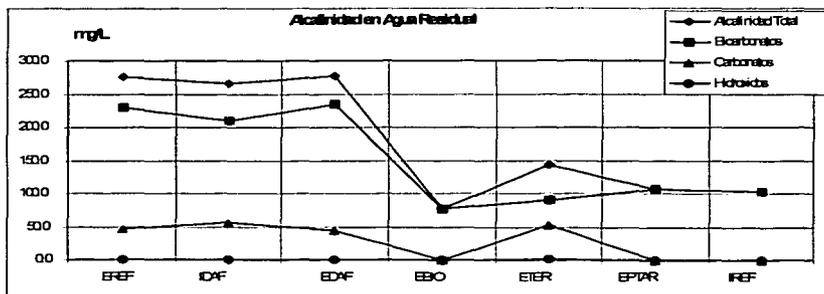


Figura 4.13 Variación de las concentraciones de alcalinidad en el tren de tratamiento de la PTAR.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



En el caso de los parámetros: Conductividad, sólidos disueltos y alcalinidad que se presentan en las figuras 4.12 y 4.13 se aprecia que en todos éstos se cumple con lo establecido en las bases de diseño, y esto es tanto en el caso de la calidad de agua que entrega la refinería a la PTAR como en la calidad de agua que recibe la refinería procedente de la PTAR, lo que indica que estos parámetros no representan ningún problema para el actual tren de tratamiento con el que cuenta la PTAR.

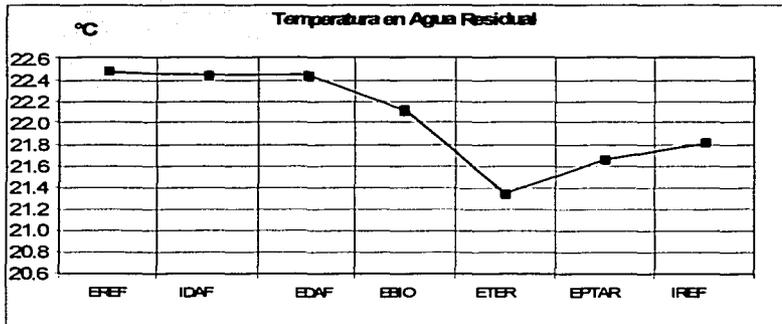


Figura 4.14 Variación de los valores de temperatura en el tren de tratamiento de la PTAR.

En la figura 4.14 se presenta el perfil de temperatura que tiene el agua residual a través de todo el tren de tratamiento y es importante señalar que a pesar de que no es un problema grave actualmente tanto la PTAR como la refinería están incumpliendo con el intervalo de temperatura establecido en las bases de diseño que va de 12 a 20 °C.

Cuando esté suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



En la Tabla 4.2, se presenta la comparación de los valores establecidos, para el influente y efluente, en las bases de diseño de la PTAR; con los obtenidos por el laboratorio acreditado.

De acuerdo con los mismos, es posible apreciar que más del 80% del volumen de diseño no llega a la PTAR y que de los 19 parámetros fisicoquímicos, la refinería entrega el agua residual con 12 de ellos por debajo de la especificación establecida en el diseño y 6 por arriba del mismo, de manera particular, la DBOs, los fenoles y el nitrógeno total se encuentran excedidos en 74%, 833% y 228% de la concentración establecida en el diseño. Por otra parte, en cuanto al efluente de la PTAR, se aprecia que el volumen que entrega a la Refinería es 80% menor de la que está establecida en el diseño. Así mismo, se aprecia que la calidad de la misma está excedida en 276 % con respecto a los compuestos nitrogenados; 228% con respecto a la dureza de Ca++; 50% en términos de dureza de Mg++ y 119% en cuanto a dureza total. De lo anterior se concluye que la refinería no está entregando el volumen y calidad del agua establecida en las bases de diseño y que la PTAR no le está regresando a la refinería ni la totalidad del volumen, ni la calidad de agua especificada.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



Tabla 4.2 Comparación de la calidad del agua del influente y efluente de la refinería estipulada en las bases de diseño respecto de la obtenida del muestreo realizado por el laboratorio acreditado externo. (Muestras obtenidas en las instalaciones de la PTAR)

PROCEDENCIA PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA PTAR		OPERACIÓN ACTUAL DE LA PTAR		DISEÑO Y DE OPERACIÓN ACTUAL	
	INFLUENTE PTAR	EFLUENTE PTAR	INFLUENTE DE LA PTAR	EFLUENTE DE PTAR	INFLUENTE PTAR	EFLUENTE PTAR
Flujo promedio (L/s)	240	240	38.74	35.51	-83.85	-85.2
Flujo mínimo (L/s)	192	235	-	-	N P	N P
Flujo máximo (L/s)	288	-	41	39.40	-85.75	N P
DOO (mg/L)	870	80	507	49	-41.72	-38.75
DBO (mg/L)	176	20 máx.	323	14	+ 83.52	-30
Fenoles (mg/L)	4	0.5	35.367	0.011	+784.18	-97.8
Grasas y aceites (mg/L)	80	2 máx.	27	0	-55	-100
Nitrógeno total (mg/L)	23	16 máx.	75.87	61.569**	+229.88	+284.8
Sol. Sed. Tot. (mg/L)	20	0	0	0	-100	0
Sol. Susp. Tot. (mg/L)	270	0*	25	3	-80.74	F E
SDT (mg/L)	2302	2145	1739	1868	-20.46	-12.91
Dureza Ca ⁺⁺ (mg/L CaCO ₃)	236	80 máx.	249	164	+8.81	+228
Dureza Mg ⁺⁺ (mg/L CaCO ₃)	189	80 máx.	166	119	-12.17	+48.75
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	425	130 máx.	414	283	-2.59	+117.69
Silice (mg/L)	96	40 máx.	39.98	17.26	-58.35	-56.85
Fosfatos (mg/L)	0.08	1 máx.	0.792	0.143	+690	-85.7
Turbidez (NTU)	N. D.	<1.0	62.26	0.62	N P	-38
PH	8 a 9	8 máx.	8.60	7.89	D E	-1.375
Conduct. (umhos/cm)	3100	2800	2539	2704	-18.09	-6.75
Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	330	130 máx.	266	107	-19.39	-17.69
Alc. Fenolftaleína (mg/L CaCO ₃)	32	15	30.14	0	-5.81	-100
Temperatura (°C)	12 a 20	12 a 20	22.4	21.7	F E	F E

** Ver valores de temperatura ambiente

N D = No determinado; N P = No procede; D E = Dentro de especificaciones; F E = Fuera de especificaciones; EIPR = Especificaciones inadecuadas para el funcionamiento actual de la refinería

En el influente, los % positivos reflejan los faltantes (volumen o calidad) estipulados en las bases de diseño. En los parámetros de volumen o calidad del agua, los valores de porcentajes

negativos (-) indican menor calidad a lo acordado en las bases de diseño y los positivos (+) que se obtuvo mejor calidad de lo especificado. Un valor de cero o cercano a este, en la columna de porcentajes, indicaría que se está cumpliendo o hay cercanía para el cumplimiento de lo indicado en las bases de diseño.

FALLA DE ORIGEN
1 ESIS CON



En cuanto a los parámetros analizados, se considera que son cuatro los aspectos a los que mayor importancia se les debe prestar a efecto de obtener la cantidad y calidad del agua contratada.

El primero, el volumen de agua residual enviado a la PTAR, el segundo, relacionado con el contenido de nitrógeno, el tercero, asociado con los sólidos suspendidos totales y el cuarto a la dureza del agua.

En cuanto al volumen de agua enviado a la PTAR, la refinería debería enviar la totalidad del agua residual que genera, previa corrección, principalmente, del exceso del contenido de nitrógeno, para ello deberá realizar las adecuaciones que consideren pertinentes (modificaciones en el proceso, pretratamiento o tratamientos específicos a las principales corrientes que contengan compuestos nitrogenados antes de confluirlas, etc.). Cabe señalar que, de acuerdo con la información obtenida, la PTAR podría cumplir con el volumen y la calidad del agua acordada en las bases de diseño. En cuanto a los sólidos suspendidos totales, éstos podrían abatirse a valores aceptables realizando los ajustes necesarios dentro de la propia PTAR. Finalmente, en cuanto a la dureza del agua, la PTAR, de acuerdo con los valores históricos y a los obtenidos durante el periodo de muestreo realizado, cuenta con la capacidad requerida para lograr obtener el valor establecido en las bases de diseño.

1. Los principales problemas detectados se refieren al volumen de calidad de agua que la refinería entrega a la PTAR y el que ésta a su vez regresa a la refinería.
2. En cuanto a la calidad del agua, a pesar de que la refinería entrega agua residual con algunos parámetros fuera de las especificaciones indicadas en

Quando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



las bases de diseño, el principal problema radica en el exceso de nitrógeno que dichas aguas residuales contienen el cual es principalmente en forma de nitrógeno amoniacal.

3. De igual forma, pese a que la PTAR no cumple con la totalidad de las especificaciones de calidad de agua residual tratada para ser entregada a la refinería, el principal problema a resolver es el alto contenido de nitrógeno que dicha agua residual tratada contiene, el cual se encuentra mayoritariamente en forma de nitrógeno amoniacal.



4.4 Balance de masa

La Tabla 4.3 contiene los valores promedio (7 días) de los análisis realizados durante la semana de muestreo en la PTAR (30/sep/2002 a 7/oct/2002).

Tabla 4.3 Balance de materia en la PTAR (datos del muestreo)

Muestra		1	2	3	4	5	6	7
		Efluente Refinería	Influente DAF	Efluente DAF	Efluente del proceso biológico	Efluente del tratamiento terciario	Efluente a Refinería	Influente Refinería
Parámetro	Unidad							
Flujo volumétrico promedio	L/s	40.15	36.74	36.74	—	—	36.51	36.70
Flujo másico promedio	T/h	144.70	139.60	139.60			127.86	130.39
Flujo volumétrico máximo	L/s	43.60	41.00	41.00	—	—	39.40	41.40
Flujo másico máximo	T/h	157.15	147.74	147.74			141.88	149.10
DQO	mg/L	465	507	402	47	41	40	42
DBO ₅	mg/L	307	323	283	19	11	14	12
Fenoles	mg/L	37.342	35.367	41.663	0.023	0.009	0.004	0.011
G y A	mg/L	24.14	27	22.86	1	0	0	0
Nitrógeno Total	mg/L	75.52	75.874	74.81	64.311	60.413	61.569	60.212
NTK	mg/L	75.52	75.87	74.81	59.59	56.32	56.17	54.58
N-org.	mg/L	9.72	6.73	5.13	3.32	2.62	2.21	3.70
N-amoniacal	mg/L	65.80	69.15	69.69	56.27	53.50	53.96	50.88
N-Nitrato	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.978	1.188	2.077	2.279
See	mg/L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SST	mg/L	27.71	25	11.14	5	4	3	4
SST	mg/L	1,760	1,739	1,752	1,615	1,605	1,688	1,693
Dureza de Ca	mg/L	253.43	249	241.71	240	160	164	164
Dureza de Mg	mg/L	163.00	166	163.29	157	120	118	121
Dureza Total	mg/L	416.43	414	405.00	397	280	283	285
Silice	mg/L	36.12	39.98	34.97	27.13	16.65	17.29	15.98
Fosfatos Totales	mg/L	0.616	0.792	0.505	0.186	0.324	0.143	0.182
Turbiedad	UNT	44.39	62.28	31.96	1.12	0.71	0.62	0.53
pH		8.37	8.60	8.51	7.60	8.77	7.89	8.03
Conductividad	µmhos/cm	2,545	2,539	2,513	2,542	2,631	2,704	2,698
Alcalinidad Total	mg/L	275.43	266	277.71	78	143	107	104
Bicarbonatos	mg/L	229.14	210	223.88	78	90	107	104
Carbonatos	mg/L	46.29	56	43.83	0	52	0	0
Hidroclorico	mg/L	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0
Temperatura	°C	22.5	22.4	22.4	22.1	21.3	21.7	21.9
Densidad	g/L	1,001.193	1,000.971	1,000.963	1,000.413	1,000.514	1,000.303	1,000.432

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



A partir de la Tabla anterior se puede constatar que después de que el agua residual paso por las instalaciones de la PTAR los parámetros cuyos valores disminuyeron menos fueron tanto el de nitrógeno total, como el de sólidos suspendidos totales, mientras que los valores de concentración relacionados con la dureza del agua aumentaron. Por estas características, el agua tratada producida por la PTAR, incumple con la calidad fisicoquímica requerida por la refinería. En el balance de masa se observa que las eficiencias de remoción más importantes se dan en las de sólidos suspendidos totales, turbiedad, fosfatos totales y DQO.

En el caso particular de DBO₅ y DQO se observa que la mayor remoción se efectúa en el tratamiento biológico, esto es de esperarse ya que la función básica de este tratamiento es eliminar los contaminantes con alta demanda bioquímica de oxígeno, fenoles, sulfuros residuales y aceites no recuperables de las aguas residuales de la refinería. Los porcentajes de remoción de DBO₅ y DQO son respectivamente del 96.09% y del 90.96%. Con lo anterior se afirma que en los parámetros de DBO₅ y DQO el agua tratada cumple con las especificaciones requeridas por la refinería, aunque en otros parámetros como son nitrógeno, SDT y dureza total, incumplen con las mismas.

En el caso específico del nitrógeno la eficiencia de remoción es solamente del 20.27 %, esto se debe principalmente a que la calidad del agua que llega a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no es la que se esperaba y no corresponde con la utilizada en las bases de diseño; por ejemplo, en la etapa de tratamiento del proceso biológico, la capacidad de diseño es para una unidad biológica de 120 L/s, y al estar trabajando únicamente con 40 L/s el tiempo de retención hidráulico aumenta lo que dificulta que se lleve a cabo una buena nitrificación aunado a que la cantidad de

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



nitrógeno amoniacal es demasiado alta (69.69 mg/L). En el tratamiento terciario se observa que la cantidad de nitrógeno amoniacal que se remueve es demasiado pequeña (3.77 mg/L), de igual manera que la dureza total. Lo anterior a pesar de que el tratamiento terciario que se está operando en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está modificado con respecto al diseño original porque la cantidad de nitrógeno amoniacal es demasiada alta (75.87 mg/L) para poder enviar el agua tratada a la refinería y para disminuir un poco la cantidad de este parámetro, se improvisó la operación de un tanque de *stripping* dentro de uno de los tanques de aireación de una de las unidades de tratamiento biológico.

Además los parámetros actuales que sobrepasan a los determinados para el diseño son: la DBO5, los fenoles, el nitrógeno total, la dureza de calcio, los fosfatos totales y ligeramente la temperatura.

Ante esta situación, no es posible asegurar que la planta pueda llegar a funcionar adecuadamente con el gasto esperado obteniendo la calidad requerida sin antes haber realizado todo un estudio de tratabilidad.

4.5 Análisis de las condiciones actuales de la PTAR.

Para determinar si los sistemas actuales son los adecuados para cumplir los requerimientos de calidad de agua considerando las condiciones de entrada establecidas en las especificaciones de diseño de la PTAR, se analizaron las características de los sistemas presentes en la PTAR con base en los documentos y planos de la propuesta técnica de la PTAR, confrontando dicha información con la información recolectada en los recorridos a en la PTAR y con datos recomendados de literatura.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



Para determinar si con las condiciones actuales de volumen y calidad de agua que la refinería envía a la PTAR ésta es capaz de producir un agua tratada con la calidad adecuada para ser utilizada en las torres de enfriamiento, se tuvo en cuenta que la PTAR recibe un flujo de agua (40L/s) considerablemente menor al establecido en las especificaciones antes mencionadas (240L/s) y que el agua contiene un exceso de contaminantes con respecto a las concentraciones para las que fue diseñada la PTAR. Con base en lo anterior, la evaluación del desempeño de la PTAR se realizó mediante la interpretación de los análisis químicos del agua obtenidos como resultado de la campaña de muestreo y análisis de agua que realizó el laboratorio acreditado por la EMA, la primera semana del mes de octubre. Con los resultados de los análisis se calcularon las eficiencias de remoción de contaminantes alcanzadas en cada uno de los sistemas principales de tratamiento de la PTAR.

El sistema de flotación DAF, el sistema de tratamiento biológico UNITANK y el sistema de tratamiento terciario basado actualmente en el principio de coagulación floculación. En las Tablas 4.4, 4.6 y 4.8 se presentan resúmenes de las características de los equipos de la PTAR comparando las condiciones de diseño, las condiciones actuales de operación y las condiciones recomendadas de acuerdo a la literatura clásica sobre tratamiento de aguas residuales.

4.5.1 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)

En la Tabla 4.4 se puede observar que el DAF fue diseñado para un flujo de operación de 144 L/s proporcionando un tiempo de residencia hidráulico de 0.956h.



Actualmente el DAF recibe solamente 40 L/s proporcionando entonces un tiempo de residencia de 3.44 h. La carga de grasas y aceites que recibe actualmente el DAF es baja. (20 mg/L). De acuerdo con las dimensiones de los tanques y el gasto de operación sólo se utiliza uno de ellos a la vez.

Como ya se mencionó anteriormente, se observa que el tiempo de retención hidráulico es considerablemente más alto que el de diseño, mientras que la carga hidráulica superficial es considerablemente más baja que la de diseño. También se observa que, tanto el tiempo de retención hidráulico, como la carga superficial de diseño se encuentran fuera de los valores típicos reportados en la literatura. El objetivo de este equipo es la remoción de grasas y aceites, sin embargo, en la tabla 4.4 se observa una eficiencia baja. (14.89%) Esto se puede deber a la baja cantidad de estos contaminantes en el influente, al alto tiempo de retención y a la baja carga hidráulica superficial de operación.

Se reitera que la remoción calculada de grasas y aceites es en promedio de 14.89 %, esta baja eficiencia de remoción de grasas y aceites puede atribuirse al hecho de que la nata que se forma de grasas y aceites es muy delgada y poco compacta por lo que una fracción de dichas grasas y aceites pueden "escapar" en el efluente del DAF. Durante una visita técnica a la PTAR se percibió que en algunas ocasiones la rastra del DAF es accionada intermitentemente, esta práctica de operación es realizada con el fin de permitir que la nata de grasas y aceites se forme uniformemente en la superficie del DAF para evitar así que los lodos recolectados en la superficie arrastren consigo una cantidad importante de agua dificultándose entonces el desaguado de los lodos. Esta situación podría posiblemente resolverse si los accesorios de hule de la rastra que arrastran las grasas y aceites en la superficie se desplazaran unos centímetros hacia arriba.

Quando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



Esta acción podría evitar que se arrastre agua en exceso con las grasas y aceites colectadas en superficie. En realidad, de acuerdo a los análisis químicos presentados en la Tabla 4.7, las grasas y aceites no representan un problema de interés en la operación de la PTAR pues son removidos prácticamente en su totalidad en el sistema biológico.

Tabla 4.4 Características de funcionamiento del DAF de diseño y actuales

Número de unidades	Volumen de cada unidad	Superficie de cada unidad	Gasto de diseño para cada unidad	Carga hidráulica superficial de diseño	Tiempo de retención hidráulica de diseño	Carga hidráulica superficial recomendada (Barnes (1988))	Gasto promedio observado	Carga hidráulica superficial observada	Tiempo de retención hidráulico promedio observado
2	4958 m ³	1825 m ²	144 L/s	28 m ³ /m ² h	0.956 h	4.9 – 9.8 m ³ /m ² h	40 L/s	0.8 m ³ /m ² h	3.44 h

En la Tabla 4.5, se presentan los valores relacionados con la eficiencia de remoción de contaminantes por el uso de flotación con aire disuelto (DAF). De acuerdo con esos resultados obtenidos de la campaña de muestreo realizada, el efecto del proceso de flotación con aire disuelto o DAF, se refleja principalmente en la reducción de DQO (20.68%); DBO₅ (12.56%), turbiedad (48.67%) y carbonatos (22%), mientras que la eficiencia de remoción de las grasas y aceites puede considerarse baja ya que sólo elimina el 14.89% del contenido que recibe dejando una concentración remanente de 22.86 mg/L el cual es eliminado completamente en las etapas subsecuentes del tratamiento, principalmente en la de tipo biológico. En cuanto al efecto que ejerce sobre los restantes parámetros analizados, éste puede considerarse como de baja importancia.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 4.5 Valores de influente y efluente del DAF, así como de los porcentajes de remoción logrados por en el equipo (datos del muestreo)

Muestra		Influente del DAF	Efluente del DAF	Cantidad removida	Eficiencia de remoción (%)
Parámetro	Unidad				
DQO	mg/L	507.0	402.1	104.9	20.68
DBO ₅	mg/L	323.1	282.6	40.6	12.56
Fenoles	mg/L	35.367	41.683	-	-
G y A	mg/L	26.857	22.857	4.000	14.89
Nitrogeno Total	mg/L	75.87	74.81	1.061	1.40
NTK	mg/L	75.87	74.81	1.060	1.40
N-org.	mg/L	8.73	5.13	1.589	23.77
N-amoniacal	mg/L	69.15	69.69	0.000	0.00
N-Nitritos	mg/L	0.001	0.000	0.001	88.89
N-Nitratos	mg/L	0.000	0.000	0.000	-
Sse	ml/l	0.000	0.000	0.000	-
SST	mg/L	24.6	11.1	13.4	54.65
SDT	mg/L	1,739.0	1,751.9	-	-
Dureza de Ca	mg/L	248.714	241.714	7.000	2.81
Dureza de Mg	mg/L	165.714	163.286	2.429	1.47
Dureza Total	mg/L	414.429	405.000	9.429	2.28
Silice					12.52
Fosfatos Totales	mg/L	0.792	0.505	0.287	36.24
Turbiedad	UNT	62.257	31.957	30.300	48.67
pH		8.60	8.51	-	-
Conductividad	µmhos/cm	2,539.3	2,513.3	26.0	-
Alcalinidad Total	mg/L	266.0	277.7	-	-
Bicarbonatos	mg/L	209.7	233.9	-	-
Carbonatos	mg/L	56.3	43.9	12.4	22.08

4.5.2 Sistema biológico UNITANK

En la Tabla 4.6, se presenta el resumen de las características de diseño y actuales del sistema de tratamiento biológico UNITANK.



Dado el escaso flujo que se está enviando actualmente a la PTAR sólo se utiliza una de las dos unidades de sistema biológico. La otra unidad se ha adaptado como un sistema de stripping con el objeto de eliminar amoniaco vía una desorción.

Los tiempos de residencia hidráulicos de diseño son de 8.02 h y 6.87 h para la primera y segunda cámara respectivamente. Con el flujo actual de 40 L/s los tiempos anteriores de residencia hidráulica cambian a 24.06 h y 20.62 h, respectivamente.

Desde el punto de vista operativo, el hecho de que el tiempo de residencia sea considerablemente mayor al de diseño puede traer como consecuencia que los tiempos de retención celular se incrementen de manera equivalente, lo anterior significa que la biomasa presente en el tanque puede encontrarse en una fase de su metabolismo desfavorable desde el punto de vista de actividad biológica, coloquialmente puede hablarse entonces de una biomasa "vieja".

El tiempo de retención celular actual es de 90 días. Este valor es enorme comparado con las recomendaciones de la literatura que es de entre 6 a 10 días. Metcalf y Eddy (1996)

Tabla 4.6 Características de diseño y actuales del sistema UNITANK

No de unidades	Volumen de la 1ª cámara de aireación	Volumen de la 2ª cámara de aireación	Volumen del clarificador	Gasto de diseño por unidad	Tiempo de retención hidráulico de diseño		Gasto promedio observado	Tiempo de retención hidráulico		Tiempo de retención recomendado en tanques de aireación
					1ª cámara	2ª cámara		1ª cámara	2ª cámara	
2	3465 m ³	2969 m ³	3465 m ³	120 L/s	8.02 h	6.87 h	40 L/s	25.06 h	20.62 h	4.00-3.00 h

En la tabla 4.7, con base en los resultados de los análisis elaborados por el laboratorio acreditado, se presentan las eficiencias de remoción de contaminantes en el sistema biológico.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



En general, las eficiencias de remoción son buenas y congruentes con los resultados que se esperarían de un sistema biológico convencional. Las eficiencias de remoción de DQO y de DBO₅ son de aproximadamente 90%. Las grasas y aceites se remueven en un 96 %. Los fenoles son removidos casi totalmente, la eficiencia de remoción es de 99.95%.

Como ya es conocido, en la PTAR la presencia excesiva de nitrógeno, principalmente amoniacal, representa un grave problema de operación.

La concentración de nitrógeno total en el influente al proceso biológico fue en promedio igual a 74.8%; en el efluente la concentración promedio fue de 10.5%. Con estos valores, la eficiencia de remoción del nitrógeno total fue de 14%.

Es necesario recordar que el sistema biológico fue diseñado para tratar un influente con una concentración de nitrógeno total igual a 23 mg/L esperándose obtener un efluente con 16 mg/L. Por lo tanto el sistema biológico es incapaz de cumplir con las especificaciones de calidad del efluente. En la tabla 4.7 puede observarse que la producción de nitritos y nitratos es ínfima, lo cual indica que la eliminación de nitrógeno se debe principalmente a la producción de biomasa y que no se ha logrado tener el proceso de nitrificación. Se recomienda realizar pruebas en laboratorio para determinar cuáles son las causas que provocan la inhibición de la nitrificación y cuáles deben de ser las condiciones experimentales para favorecer la nitrificación.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 4.7 Eficiencias de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento biológico (datos del muestreo)

Muestra		Influente del proceso biológico	Efuyente del proceso biológico	Cantidad removida o producida	Porcentaje de remoción (%)
Parámetro	Unidad				
DQO	mg/L	402.1	46.9	355.286	88.35
DBO ₅	mg/L	282.6	19.0	263.571	93.28
Fenoles	mg/L	41.683	0.023	41.660	99.95
G y A	mg/L	22.86	1	22.000	96.25
Nitrógeno Total	mg/L	74.81	64.31	10.502	14.04
NTK	mg/L	74.81	59.59	15.228	20.35
N-org.	mg/L	5.13	3.32	1.809	35.27
N-amoniacal	mg/L	69.69	56.27	13.417	19.25
N-Nitritos	mg/L	0.00	3.745	3.745	-
N-Nitratos	mg/L	0.00	0.978	0.978	-
Sse	ml/l	0.0	0.0	-	-
SST	mg/L	11.1	5.0	6.1	55.13
SDT	mg/L	1,751.9	1,814.9	63.0	3.60
Dureza de Ca	mg/L	241.71	240	1.571	0.65
Dureza de Mg	mg/L	163.29	157	6.286	3.85
Dureza Total	mg/L	405.00	397	7.857	1.94
Silice	mg/L	34.97	27.13	7.840	22.42
Fosfatos Totales	mg/L	0.505	0.186	0.319	63.10
Turbiedad	UNT	31.96	1.12	30.840	96.50
pH		8.51	7.60	-	-
Conductividad	µmhos/cm	2,513.3	2,541.9	28.571	-
Alcalinidad Total	mg/L	277.7	77.9	199.857	71.97
Bicarbonatos	mg/L	233.9	77.9	156.000	66.71
Carbonatos	mg/L	43.9	0.0	43.857	100.00

El sistema UNITANK, cumple con su función presentando alta remoción de contaminantes de tipo carbonoso (medidos como DQO, DBO₅, grasas y aceites).

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



De la Tabla anterior se observa que una remoción superior a 88% de la DQO, de la DBO₅, de los fenoles, las grasas y aceites, de la turbiedad, de los sólidos suspendidos totales y de los carbonatos. También se obtienen importantes remociones del nitrógeno orgánico, de la alcalinidad total y de los bicarbonatos.

Este sistema presenta baja remoción de compuestos nitrogenados, de hecho sólo reduce poco más del 10% del nitrógeno amoniacal que recibe, permitiendo sólo de manera incipiente el fenómeno de nitrificación. A este respecto es ampliamente recomendable la realización de un estudio específico enfocado a evaluar no solamente la transformación de amonio a nitratos (nitrificación) sino de manera integral las condiciones necesarias para favorecer el proceso de nitrificación / desnitrificación, que permitan minimizar, por métodos biológicos (si así se decidiera), el alto contenido de nitrógeno presente en la agua residual que trata la PTAR.

De manera complementaria, la capacidad de diseño para cada unidad biológica es de 120 L/s, con un tiempo de retención hidráulico para la primera cámara de aireación de 8 horas, aproximadamente y de casi 7 horas para la segunda cámara. Sin embargo, este sistema está trabajando con un gasto aproximado de 40 L/s, lo que representan tiempos de retención hidráulicos aproximados de 24 y 21 horas, respectivamente. Estos tiempos de retención, son suficientes para que se lleve a cabo el fenómeno de nitrificación, pero debido probablemente a la presencia de sustancias tóxicas, la nitrificación no se lleva a cabo.

Entre otros aspectos a revisar se encuentra la disponibilidad adecuada de oxígeno disuelto y la inexistencia de elementos inhibitorios del proceso nitritante-nitratante.

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



Debido a que los alcances de este trabajo no contemplaban llevar a cabo el análisis específico de esta problemática, resulta altamente recomendable la ejecución de un estudio detallado de este aspecto en particular.

4.5.3 Sistema de tratamiento fisicoquímico

El tratamiento terciario que se está operando en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está modificado con respecto al diseño original. Esta modificación, de acuerdo con el personal de la PTAR, se efectuó con objeto de minimizar la cantidad de nitrógeno amoniacal que contiene el agua residual a tratar, misma que debe ser removida para poder ser enviada a la refinería dentro de las especificaciones de diseño. Para tal efecto, se improvisó la operación de un tanque de *stripping* empleando para ello uno de los tanques de aireación de una de las unidades de tratamiento biológico. Para llevar a cabo la remoción, en el tanque contenedor, se incrementa el pH por adición de una solución de NaOH y una posterior desorción de amoníaco por medio de burbujeo con aire.

Posteriormente, el agua se conduce a un clarificador para separar los precipitados formados durante el ablandamiento que se da para continuar a un tanque donde se hace burbujear bióxido de carbono, proceso denominado como recarbonatación, bajando así el pH del agua de 8.77 a 7.89.

Tabla 4.8 Características de diseño de los sistemas fisicoquímicos y condiciones actuales

No de unidades	Volumen de cada unidad	Gasto de diseño por unidad	Tiempo de retención hidráulico por unidad	Gasto promedio observado	Tiempo de retención hidráulico observado
2	1480 m ³	120 L/s	3.43 h	40 L/s	10.28 h

Las eficiencias de remoción de contaminantes se dan en la siguiente Tabla:

Cuando está suficientemente oscuro, puedes ver las estrellas.

Charles A. Beard



Tabla 4.9 Eficiencias de remoción en el tratamiento terciario (datos del muestreo)

Muestra		Influyente del tratamiento terciario	Efluente del tratamiento terciario	Cantidad removida o producida	Porcentajes de remoción (%)
Parámetro	Unidad				
DQO	mg/L	46.9	41.3	5.6	11.89
DBO ₅	mg/L	19.0	10.7	8.3	43.61
Fenoles	mg/L	0.023	0.008	0.014	62.66
G y A	mg/L	0.857	0.000	0.857	100.00
Nitrógeno Total	mg/L	64.31	60.41	3.90	6.06
NTK	mg/L	59.59	55.32	4.267	7.16
N-org.	mg/L	3.32	2.82	0.50	14.94
N-amoniacoal	mg/L	56.27	52.50	3.77	6.70
N-Nitritos	mg/L	3.75	3.91	0.16	4.29
N-Nitratos	mg/L	0.98	1.19	0.21	21.39
Sse	ml/l	0.0	0.0	-	-
SST	mg/L	5.0	3.9	1.1	22.86
SDT	mg/L	1814.9	1854.6	39.7	2.19
Dureza de Ca	mg/L	240.14	160.29	79.86	33.25
Dureza de Mg	mg/L	157.00	120.00	37.00	23.57
Dureza Total	mg/L	397.14	280.29	116.86	29.42
Silice	mg/L	27.13	16.65	10.48	38.64
Fosfatos Totales	mg/L	0.19	0.32	0.14	-
Turbiedad	NTU	1.12	0.71	0.41	36.72
pH		7.60	8.77	-	-
Conductividad	µmhos/cm	2,541.9	2,631.4	89.6	-
Alcalinidad Total	mg/L	77.86	143.43	65.57	-
Bicarbonatos	mg/L	77.86	89.57	11.71	-
Carbonatos	mg/L	0.00	52.43	52.43	-

La cantidad de nitrógeno amoniacoal que se remueve con este método es pequeña (6.7%), al igual que la dureza total (29.42%).



CAPITULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

El análisis económico presentado en este capítulo se basa en los datos establecidos en un contrato firmado por una empresa prestadora de servicios (quien se ocupa de la operación de la PTAR) y la refinería. **Por cuestiones de confidencialidad de información los datos y rubros fueron cambiados convenientemente, quedándose el objetivo académico de mostrar el procedimiento seguido para dicha evaluación económica.**

Para la evaluación económica del funcionamiento actual de la PTAR se utilizó la secuencia siguiente:

- a) Revisión de las condiciones de la estructura financiera para el cálculo de las tarifas para facturación
- b) Revisión de la facturación para el mes 24
- c) Cálculo a valor futuro al año 2012 de los montos de facturación contenidos en la estructura financiera de la PTAR
- d) Cálculo a valor presente del 2002 de los montos de facturación contenidos en la estructura financiera de la PTAR.

5.1 Cálculo de las tarifas para facturación de la PTAR

5.1.1 Tarifa de Inversión

La tarifa de inversión se calculó durante la etapa de operación en función del origen del financiamiento. Para amortizar el financiamiento en moneda nacional, la tarifa de inversión se actualizó utilizando el incremento en el Índice Nacional de Precios al

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



Consumidor (INPC) de la fecha de cotización a la fecha del mes de la prestación de servicio, y para amortizar el financiamiento en moneda extranjera su actualización estuvo en función del tipo de cambio para solventar operaciones denominadas en moneda extranjera de la fecha de pago, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$TIMNA = TIMN_n \left(\frac{INPC_n}{INPC_0} \right)$	ECUACIÓN 5.1
---	--------------

Donde:

- TIMNA = Tarifa de Inversión en Moneda Nacional Actualizada
- TIMN_n = Tarifa de Inversión en Moneda Nacional correspondiente al mes n de operación, a precios de la fecha de cotización.
- INPC_n = Índice Nacional de Precios al Consumidor correspondiente al mes n de operación.
- INPC₀ = Índice Nacional de Precios al Consumidor de la fecha de cotización.

Para amortizar el financiamiento en Moneda extranjera:

$TIMEA = (TIME_n)(TC_n)$	ECUACIÓN 5.2
--------------------------	--------------

Donde:

- TIMEA = Tarifa de inversión en Moneda Extranjera Actualizada (pesos)
- TIME_n = Tarifa de Inversión en Moneda Extranjera correspondiente al mes N de operación (dólares)
- TC_n = Tipo de Cambio de la fecha de pago.



5.1.2 Tarifa Financiera.

La tarifa financiera se calculó considerando los gastos realizados en: (1) Las obligaciones fiscales, (2) el costo del financiamiento y (3) la utilidad de los inversionistas, independientemente del volumen de agua tratada. El monto denominado en moneda nacional se actualizó mensualmente con base en el índice nacional de precios al consumidor y, en su caso, el costo del financiamiento en moneda extranjera se paga en función de la variación cambiaria y de la variación de la tasa base (no se aceptan variaciones en la sobretasa), en el entendido que se debe especificar el monto del financiamiento en moneda extranjera, la tasa de interés a la que se contrató y la forma de pago. Su actualización se realiza con los factores, contenidos en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Descripción de índices para el cálculo de la tarifa financiera.

Concepto	Factores a utilizar
1. Obligaciones fiscales	Moneda Nacional Índice Nacional de Precios al Consumidor. Fuente: Cuademo mensual del Banco de México
2. Costo Financiamiento	Moneda extranjera Variación en tasas de interés. Fuente: *Tipo de cambio y variación en la Tasa base. HypoVereinsbank
3. Utilidad Inversionista	Índice Nacional de Precios al Consumidor. Fuente: Cuademo mensual del Banco de México Tipo de cambio

*Nota: Para el caso en que la tasa contratada sea variable, el costo del financiamiento (deuda) se calculará con base en la tasa del mes de la prestación del servicio.



Las ecuaciones que se utilizaron son:

para Moneda Nacional:

$TAF = (TF_c) \left(\frac{IN}{IB} \right)$	ECUACIÓN 5.3
---	---------------------

para Moneda extranjera:

$TFA = (TF_c)(Tc) \left(\frac{Tasa_n}{Tasa_0} \right)$	ECUACIÓN 5.4
---	---------------------

Donde:

TFA = Tarifa Financiera Actualizada

TF_c = Tarifa Financiera Cotizada

IN = Índice de la fecha de prestación del servicio

IB = Índice de la fecha Base

Tc = Tipo de cambio

Tasa_n = Tasa de interés correspondiente al mes n de operación

Tasa₀ = Tasa de interés de las corridas financieras.

5.1.3 Tarifa de Operación Fija.

Considera todas aquellos gastos no financieros que son necesarios para la operación y mantenimiento de la PTAR e independientes del volumen de agua tratada, que incluye: Gastos de operación, energía eléctrica fija, gastos de administración, mantenimiento y conservación (componente extranjero), mantenimiento y conservación (componente nacional), primas de seguro y fianzas, gastos imprevistos (Tabla 5.2).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Esta tarifa fue calculada sobre la base de operación a la capacidad de diseño, así como en óptimas condiciones de operación, mantenimiento y conservación; considerando que el principal componente de los gastos de operación y administración corresponde a mano de obra. Para la energía eléctrica, se considera el consumo en Kwh al precio de mercado en el momento de la cotización. La escalación estuvo en función del incremento de costo de tarifas de energía eléctrica. Por concepto de gastos de mantenimiento y conservación se cargó un porcentaje anual sobre el valor de la maquinaria y equipo que deberá incluirse como un valor fijo, mismo que fue dividido sobre una base mensual. El reemplazo de activos debe de considerarse en este concepto.

El cargo por concepto de seguros y fianzas es equivalente a las primas mensuales de las pólizas correspondientes.

Tabla 5.2 Descripción de índices para el cálculo de la Tarifa de Operación Fija.

Concepto	Factores a utilizar	
Gastos de operación	Moneda Nacional	Moneda extranjera
	Índice de salario mínimo (Comisión Nacional de Salario Mínimo)	
Energía Eléctrica Fija	Índice de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (Banco de México)	
Mantenimiento y Conservación	y INPC = Índice Nacional de Precios al Consumidor	Tipo de Cambio y Price Index (PPI)
Seguros y Fianzas Imprevistos	INPC	

La ecuación a utilizar para la actualización de cada componente de la tarifa de operación fija es:

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



Para moneda nacional:

$TOMN_n = TO_c \left(\frac{IN}{IB} \right)$	ECUACIÓN 5.5
--	---------------------

Donde:

$TOMN_n$ = Tarifa de Operación Fija Actualizada al mes n de operación en moneda nacional

TO_c = Tarifa de Operación cotizada

IN = Índice del mes de prestación del servicio

IB = Índice Base

Para moneda extranjera:

$TOME_n = (TO_c)(TC)(PPI)$	ECUACIÓN 5.6
----------------------------	---------------------

Donde

$TOME_n$ = Tarifa de Operación Fija Actualizada al mes n de operación en moneda extranjera (pesos)

TO_c = Tarifa de Operación cotizada (moneda extranjera)

TC = Tipo de Cambio

PPI = Producer Price Index publicado por el United States Department of Commerce en el Current Survey of Business correspondiente al mes de la propuesta.

La tarifa de operación fija total actualizada es la suma de cada uno de sus componentes, siendo ésta:

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



$$TOA = TOMN_n + TOME_n$$

ECUACIÓN 5.7

5.1.4 Tarifa de Operación Variable.

Comprende todos aquellos gastos que se mueven con los volúmenes y calidades de agua tratada. En la estructura financiera, se cotizaron las tarifas variables para cada una de las corrientes en condiciones de diseño. También se consideró en cada una de las corrientes el costo del tratamiento y disposición de lodos.

La tarifa esta integrada por: (1) Energía eléctrica variable, (2) Reactivos químicos (trato de aguas, componente nacional), (3) Reactivos químicos (trato de lodos, componente extranjero), (4) Imprevistos, (5) Tratamiento y disposición final de lodos y residuos.

La ecuación a utilizar para la actualización de la tarifa de operación variable es:

Para gastos en moneda nacional:

$$TVMN_n = \sum^n (PUVAT) \left(\frac{IN}{IB} \right) (GR) \quad \text{ECUACIÓN 5.8}$$

Donde:

$TVMN_n$ = Tarifa Variable Actualizada al mes n de operación.

$PUVAT$ = Precio Unitario por volumen de agua tratada por cada uno de los elementos de cada corriente.

IN = Índice Nuevo, correspondiente al mes n de operación.

IB = Índice Base, correspondiente al de la fecha de cotización.

GR = Metros cúbicos procesados

n = Número de elementos de cada corriente

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



Para gastos en moneda extranjera:

$TVME_n = \sum \frac{P}{1+i} (PUVAT)(TC)(PPI)(GR)$	ECUACIÓN 5.9
--	--------------

Donde:

TVME_n = Tarifa Variable Actualizada en moneda extranjera

PUVAT = Precio Unitario por volumen de agua tratada por cada uno de los elementos de cada corriente.

TC = Tipo de cambio

PPI = Producer Price Index

GR = Gasto Real en metros cúbicos

La tarifa variable actualizada (TVA) es (Información proporcionada por la PTAR):

$TVA = TVMN + TVME_n$	ECUACIÓN 5.10
-----------------------	---------------

En las tablas 5.5 a 5.8 se proporcionan datos sobre los índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas.



Tabla 5.5 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (tipo de cambio)
(www.banxico.org.mx).

ÍNDICE	FUENTE	BASE		ACTUAL		
		FECHA	VALOR	FECHA	VALOR	
				Septiembre 2002	10.2140	
	www.banxico.org.mx			Septiembre 2001	9.5175	
				Septiembre 2000	9.4400	
				Septiembre 1999	9.3650	
				Septiembre 2003	10.4729	
				Septiembre 2004	10.8263	
				Septiembre 2005	11.1795	
			Abril de 1998	8.5200	Septiembre 2006	11.5326
					Septiembre 2007	11.8856
					Septiembre 2008	12.2383
					Septiembre 2009	12.5908
					Septiembre 2010	12.9432
					Septiembre 2011	13.2954
				Septiembre 2012	13.6475	
TIPO DE CAMBIO	Proyectados con base en los datos históricos.					

CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.6 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (INPC, IPQ)
(www.banxico.org.mx)

INDICE	FUENTE	BASE		ACTUAL		
		FECHA	VALOR	FECHA	VALOR	
Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)	Cuaderno Mensual del Banco de México www.banxico.org.mx/informacion-financiera/tsinofinanciera.htm			Junio 2002	360.669	
				Septiembre 2001	348.020	
				Septiembre 2000	327.910	
				Septiembre 1999	301.251	
				Septiembre 2003	395.588	
				Septiembre 2004	421.268	
				Septiembre 2005	446.736	
			Agosto de 1998	255.937	Septiembre 2006	472.291
			Proyectados con base en los datos históricos		Septiembre 2007	497.833
				Septiembre 2008	523.362	
				Septiembre 2009	548.879	
				Septiembre 2010	574.383	
				Septiembre 2011	599.874	
					Septiembre 2012	625.352
		Índice de Productos Químicos	Cuaderno Mensual del Banco de México www.banxico.org.mx/informacion-financiera/tsinofinanciera.htm			Agosto 2002
				Octubre 2001	385.859	
				Octubre 2000	443.6191	
				Octubre 1999	269.427	
				Octubre 2003	475.699	
				Octubre 2004	513.954	
				Octubre 2005	552.209	
	Agosto de 1998			286.353	Octubre 2006	590.464
	Proyectados con base en los datos históricos				Octubre 2007	628.719
				Octubre 2008	666.974	
				Octubre 2009	705.229	
				Octubre 2010	743.484	
		Octubre 2011	781.739			
			Octubre 2012	819.994		

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.7 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (tasa libor, salario mínimo) (www.banxico.org.mx, www.boe.fin.ec)

INDICE	FUENTE	BASE		ACTUAL	
		FECHA	VALOR	FECHA	VALOR
Tasa Libor	HypoVereinsbank www.boe.fin.ec/indicadores/tesoreria/libo/2002/libo0830.htm	Agosto de 1998	5.68%	Septiembre 2002	1.810
				Septiembre 2001	2.66
				Septiembre 2000	6.81
				Septiembre 1999	6.00
				Septiembre 2003	1.86
				Septiembre 2004	1.23
				Septiembre 2005	0.92
				Septiembre 2006	0.69
				Septiembre 2007	0.51
				Septiembre 2008	0.38
				Septiembre 2009	0.28
				Septiembre 2010	0.21
				Septiembre 2011	0.16
				Septiembre 2012	0.12
				Índice de Salario Mínimo	Cuaderno Mensual del Banco de México www.banxico.org.mx/informacion-financiera/tsinfofinanciera.html
Septiembre 2001	37.57				
Septiembre 2000	35.12				
Septiembre 1999	31.91				
Septiembre 2003	43.21				
Septiembre 2004	46.12				
Septiembre 2005	49.03				
Septiembre 2006	51.84				
Septiembre 2007	54.85				
Septiembre 2008	57.75				
Septiembre 2009	60.65				
Septiembre 2010	63.56				
Septiembre 2011	66.46				
Septiembre 2012	69.36				

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.8 Índices utilizados para el cálculo de actualización de tarifas (IGTDEE, PPI).

(www.banxico.org.mx, www.data.bls.gov)

INDICE	FUENTE	BASE		ACTUAL		
		FECHA	VALOR	FECHA	VALOR	
Índice de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica	Cuaderno Mensual del Banco de México www.banxico.org.mx/informacion-financiera/reportes/cuadernos-precios/jul/pre45.pdf (pag 11)	Proyectados con base en los datos históricos	Agosto de 1998	201.900	Agosto 2002	340.048
					Octubre 2001	333.045
					Octubre 2000	392.1938
					Octubre 1999	273.7513
					Octubre 2003	408.8645
					Octubre 2004	442.4235
					Octubre 2005	475.9825
					Octubre 2006	509.5414
					Octubre 2007	543.1004
					Octubre 2008	576.6594
					Octubre 2009	610.2184
					Octubre 2010	643.7773
Octubre 2011	677.3363					
Octubre 2012	710.8953					
Producer Price Index (PPI)	Bureau of Labor Statistics Data data.bls.gov/labjava/outside.jsp?survey	Proyectados con base en los datos históricos	Agosto de 1998	134.0	Agosto 2002	138.3
					Agosto 2001	136.4
					Agosto 2000	137.4
					Agosto 1999	134.8
					Agosto 2003	139.3
					Agosto 2004	140.3
					Agosto 2005	141.4
					Agosto 2006	142.4
					Agosto 2007	143.8
					Agosto 2008	144.6
					Agosto 2009	145.6
					Agosto 2010	146.7
Agosto 2011	147.8					
Agosto 2012	148.9					

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



5.2 Facturación de la PTAR en el mes 24.

Como ya se mencionó anteriormente, los datos que se presentan a continuación no son los originales, siendo éstos modificados proporcionalmente para reflejar la situación actual de la PTAR; la facturación se calcula con base en las cuatro tarifas descritas anteriormente: La de inversión, la financiera, la de operación fija y la de operación variable. Las tres primeras tarifas, como ya se menciona, son independientes del flujo de agua residual tratado en la PTAR y la tarifa de operación variable es función del flujo de agua residual que sea tratado. El cálculo mensual de las tarifas se hace con base en lo descrito para el cálculo de tarifas.

En la Tabla 5.9 se presenta el resumen de la facturación de la PTAR en el mes 24. En las dos últimas columnas de la tabla 5.9 se presentan los costos por metro cúbico de agua tratada considerando la condición actual de un flujo de 40 L/s y el costo estimado si la PTAR trabajará a 100% de su capacidad a 240 L/s. El costo actual del agua tratada es igual a \$ 43.60/m³, el costo con un flujo de 240 L/s sería igual a \$10.70/m³. El costo actual del agua cruda de primer uso (agua de pozo) en la refinería es de \$0.002 USD/gal lo que equivale a \$5.54/m³. Los costos anteriores reflejan que el agua tratada es considerablemente más costosa que el agua cruda significando que la operación de la PTAR no es económicamente rentable. Esta era una situación conocida desde la concepción del proyecto pues la tasa interna de retomo (TIR) calculada era de 12.10%. La justificación del funcionamiento de la PTAR esta fundamentada en argumentos relacionados con la protección del ambiente.



Tabla 5.9 Facturación de la PTAR correspondiente al mes 24.

CONCEPTO	COMPONENTE	COSTO	COSTO	COSTO	\$/m ³ 40 lps	\$/m ³ o 240 lps
		PESOS/MES	ACTUALIZADO \$/MES A 40 LPS	ACTUALIZADO \$/MES A 240 LPS		
TARIFA DE INVERSIÓN	Capital de Los Accionistas	285,349.72	340,835.50	340,835.50	3.24	0.54
	Amortización del Principal de la Deuda	875,372.46	1,045,587.19	1,045,587.19	9.95	1.66
	Subtotal =	1,160,722.18	1,386,422.69	1,386,422.69	13.20	2.20
TARIFA FINANCIERA	Obligaciones Fiscales (Comp. Nacionales)	26,3974.37	371,995.34	371,995.34	3.54	0.59
	Costo del Financiamiento	646,947.99	495,346.91	495,346.91	4.71	0.79
	Utilidad de los Inversores	451,746.69	539,588.09	539,588.09	5.14	0.86
	Subtotal =	1,362,689.05	1,406,930.34	1,406,930.34	13.39	2.23
TARIFA DE OPERACIÓN FIJA	Gastos de Operación	504,072.10	741,111.76	741,111.76	7.05	1.18
	Energía Eléctrica Fija	173,703.70	292,558.67	292,558.67	2.78	0.46
	Gastos de Administración	-	-	-	-	-
	Mantenimiento y Conservación (M. Ext.)	171,985.50	212,019.88	212,019.88	2.02	0.34
	Mantenimiento y Conservación (M. Noc.)	25,545.36	35,998.78	35,998.78	0.34	0.06
	Primas de Seguros y Fianzas	33,604.95	47,356.43	47,356.43	0.45	0.08
	Gastos Imprevistos	32,000.00	45,094.72	45,094.72	0.43	0.07
	Subtotal =	940,911.61	1,374,140.25	1,374,140.25	13.08	2.18
TARIFA DE OPERACIÓN VARIABLE	Energía Eléctrica Variable	252,620.68	69,145.67	431,146.77	0.66	0.68
	Reactivos Químicos (M. Noc.)	490,590.71	116,775.20	728,133.08	1.11	1.16
	Reactivos Químicos (M. Ext.)	325,546.00	65,221.28	406,676.85	0.62	0.65
	Imprevistos	47,160.00	10,800.45	67,344.46	0.10	0.11
	Trento y Disp. Final de Lodos y Resid.	662,534.32	151,731.70	946,098.71	1.44	1.50
	Subtotal =	1,778,451.71	413,674.30	2,579,395.87	3.94	4.09
GRAN TOTAL		5,242,774.55	4,501,167.60	6,746,893.16	49.60	10.70

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Nota: En la última columna se ha incluido el cálculo de las tarifas suponiendo que la PTAR operará con un flujo de 240

L/s

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



En la Tabla 5.10 se resume la facturación de la PTAR en el mes 24. Con base en los montos contenidos en la Tabla 5.9, a continuación se presentan los porcentajes que representan cada una de las tarifas actuales con respecto al monto de la facturación total:

Tabla 5.10 Porcentaje de las tarifas financieras

Tarifa de inversión	\$1'386,422.69	30.26%
Tarifa financiera	\$1'406,930.34	30.71%
Tarifa de operación variable	\$1'374,140.25	29.99%
Tarifa de operación fija	\$413,674.3	9.03%
Total	\$4'581,167.58	100%

Estos porcentajes reflejan que cada una de las tarifas fijas representa aproximadamente un 30% de la facturación total. La tarifa de operación variable representa menos del 10% del monto total de la factura. Es conveniente mencionar que la tarifa de operación fija es calculada considerando que la PTAR funciona a 100% de su capacidad (240L/s). En ella se han incluido los costos asociados a gastos de operación (16.2%) consumo de energía eléctrica (6.83%) y mantenimiento y conservación en moneda nacional (0.78%) y extranjera (4.72%), entre otros rubros. Estos costos estimados se actualizan mes con mes de acuerdo a los índices presentados en la sección anterior del presente documento. La tarifa de operación fija se basa en estimaciones realizadas en la estructura financiera y no en consumos ni erogaciones reales. Desde el punto de vista de conveniencia económica para la refinería sería conveniente que tanto la tarifa de operación fija como la variable se calcularan con base en consumos reales y que éstos se justificaran con las facturas correspondientes. En las condiciones actuales de operación, desde el punto de vista económico, no se recomienda suspender el envío de agua residual a la PTAR. El costo asociado al tratamiento de 40 L/s es marginal con respecto al monto total de

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



facturación. La suspensión de la alimentación de agua a la PTAR es también contraproducente desde el punto de vista técnico.

5.3 Cálculos financieros a valor presente y a valor futuro

5.3.1 Valor de la planta.

El valor de la planta se refiere al costo actualizado de la inversión que se realizó al inicio del proyecto y que se resume en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Descripción de inversiones en moneda nacional y extranjera.

Descripción:	Importe a invertir moneda nacional	en moneda extranjera expresado en pesos
Terreno	4,760,000.0	
Ing. Básica	2,044,177.6	
Patente y licencias	0.0	
Ing. de detalle	3,773,874.4	
Equipo	209,581.5	52,612,236.9
Materiales	8,465,289.6	
Instrumentación	66,884.6	
Tubería	2,663,705.7	
Eléctrico	2,063,197.2	
Obra civil e instalaciones	29,128,564.0	
Pruebas e instalaciones	2,985,339.7	
Continuación de la Tabla 5.11		
Otros (mencionar)	15,500.0	
Costo total de la inversión	56,176,114.3	52,612,236.9
Costos de promotor		3,322,800.0
Costos legales		2,351,946.0
Costos de agente financiero		3,322,800.0
Costos de seguros		639,000.0
Intereses preoperativos		12,109,689.0
Otros (especificar)		3,900,720.8
Costo total del proyecto	56,176,114.3	78,259,192.7

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Importe a invertir en moneda nacional	\$ 56,176,114.3
Importe a invertir en moneda extranjera	\$ 78,259,192.7
Inversión Total	\$ 134,435,807

Para la actualización de la inversión al año 2002 se utilizó la ecuación de Valor Presente:

$P = A(1+i)^n$	ECUACIÓN 5.11
----------------	---------------

En donde:

- P = Valor presente
- A = Valor anterior
- i = Inflación
- n = Número de años

Obteniéndose así:

Valor presente en 2002 de la planta	\$ 274,918,096.94
-------------------------------------	--------------------------

5.3.2 Valor futuro de la planta a 12 años (Capacidad 240 L/s).

Para este rubro se realizó una proyección de las tarifas antes mencionadas (tarifa de operación fija, tarifa de operación variable, tarifa financiera y tarifa de inversión) utilizándose las ecuaciones presentadas en la sección de cálculo de tarifas, posteriormente se utilizó la ecuación de valor futuro (ecuación 12) para obtener el reporte anual de costos proyectado en cada año.



$$F = P (1+i)^n$$

ECUACIÓN 5.12

El resumen del reporte anual de costos de cada año se presenta en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Reporte anual de costos.

Reporte Anual de costos	Periodo de Operación				
	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Tarifa de Operación	18,581,558.32	19,823,101.36	21,064,837.72	22,308,065.31	23,558,845.46
Tarifa Variable	34,927,023.18	36,424,427.17	38,771,970.26	41,125,191.99	43,493,002.23
Tarifa Financiera	16,847,528.40	16,554,777.87	16,351,970.16	16,492,228.07	16,393,271.28
Tarifa de Inversión	17,121,306.01	17,699,051.36	18,276,469.80	18,711,591.93	19,284,332.85
Total de ingresos por Tarifas	87,477,415.90	90,501,357.79	94,465,247.94	98,637,077.29	102,729,451.82

Reporte Anual de costos	Periodo de Operación				
	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Tarifa de Operación	24,797,774.73	26,044,234.76	27,291,863.66	28,540,579.99	29,790,496.23
Tarifa Variable	45,838,722.25	48,199,033.95	50,561,812.66	52,927,030.16	55,294,776.76
Tarifa Financiera	16,305,513.99	17,441,380.26	17,395,273.90	14,380,195.12	14,855,700.07
Tarifa de Inversión	19,856,587.02	19,853,978.99	20,409,665.85	262,738.38	290,226.10
Total de ingresos por Tarifas	106,798,597.99	111,538,627.96	115,658,616.07	96,130,543.65	100,231,201.16

En consecuencia, se calcula que el valor futuro de la planta a 12 años con una capacidad de 240 L/s es de:

Valor futuro de la planta a 12 años (240 L/s)	\$ 1,004,168,138.00
---	----------------------------

El detalle de las tarifas se presenta en la Tabla 5.13.



Tabla 5.13 Tarifas de facturación futuras cálculos al año 2012 (240 L/s).

TARIFAS	Total
Tarifa de Operación	241,801,360
Tarifa Variable	447,562,991
Tarifa Financiera	163,017,839
Tarifa de Inversión	151,785,948
Total de Ingresos por Tarifas	1,004,168,138

5.3.3 Valor presente de la planta a 12 años (Capacidad 240 L/s).

Del valor obtenido en la proyección de costos a 12 años con capacidad de 240 L/s se calcula el valor presente con la siguiente ecuación:

$P = F \frac{1}{(1+i)^n}$	ECUACIÓN 5.13
---------------------------	---------------

Donde:

- P = Valor Presente
- F = Valor Futuro
- i = Inflación
- n = Número de años

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.14.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Tabla 5.14 Tarifas de facturación presentes calculadas al año 2002 (240 L/s)

TARIFAS	Valor Presente
Tarifa de Operación	59,769,596.0
Tarifa Variable	110,630,726.3
Tarifa Financiera	40,295,516.7
Tarifa de Inversión	37,519,165.0
Total de Ingresos por Tarifas	248,218,008.0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El valor presente de la planta a 12 años (capacidad 240 L/s) es de:

Valor presente de la planta a 12 años (240 L/s) \$248,218,008.0

5.3.4 Valor futuro de la planta a 12 años (Capacidad 40 L/s).

En este caso se utilizó la misma metodología que para el valor futuro de la planta a 12 años (capacidad 240 L/s), pero con la consideración que el flujo de agua que se va a tratar es de 40 L/s. Obteniéndose así:

Tabla 5.15 Tarifas de facturación futuras calculadas al año 2012 (gasto 40 L/s)

Reporte Anual	Operación				
	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Tarifa de Operación	16,561,556.32	19,823,101.36	21,084,837.72	22,306,065.31	23,596,645.46
Tarifa Variable	10,536,952.01	535,894.82	6,461,965.04	6,854,198.66	7,246,633.79
Tarifa Financiera	16,847,526.40	16,554,777.87	16,351,970.16	16,492,228.07	16,363,271.28
Tarifa de Inversión	17,121,306.01	17,699,051.38	18,276,469.80	18,711,591.80	19,204,332.85
Total de Ingresos por Tarifas	63,487,344.73	64,882,625.44	62,188,272.72	64,368,083.87	66,486,283.38

Reporte Anual de costos	Periodo de Operación				
	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Tarifa de Operación	24,797,774.73	26,044,234.76	27,291,863.66	28,540,579.99	29,790,466.23
Tarifa Variable	45,836,722.25	48,199,033.95	50,561,812.66	52,927,030.16	55,294,776.76
Tarifa Financiera	16,305,513.99	17,441,380.26	17,395,273.90	14,380,195.12	14,855,700.07
Tarifa de Inversión	19,856,587.02	19,853,978.99	20,409,665.85	282,738.38	290,226.10
Total de Ingresos por Tarifas	106,798,597.99	111,538,627.96	115,658,616.07	96,130,543.65	100,231,201.16

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



El resumen de las tarifas calculadas se presenta en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Resumen de Tarifas de facturación calculadas al año 2012 con gasto de 40 L/s.

TARIFA	Total
Tarifa de Operación	241,801,359.55
Tarifa Variable	10,936,952.01
Tarifa Financiera	163,017,839.11
Tarifa de Inversión	151,785,948.31
Total de ingresos por Tarifas	630,749,917.18

TABLA CON
FALLA DE ORIGEN

Siendo el valor futuro de la planta a 12 años con una capacidad de 40 L/s:

Valor futuro de la planta a 12 años (40 L/s)	630,749,917.18
---	-----------------------

5.3.5 Valor presente de la planta a 12 años (Capacidad 40 L/s).

Del valor obtenido en la proyección de costos a 12 años con una capacidad de 40 L/s se calculó el valor presente con la siguiente ecuación:

$P = F \frac{1}{(1+i)^n}$	ECUACIÓN 5.14
---------------------------	----------------------

Donde:

- P = Valor Presente
- F = Valor Futuro
- i = Inflación
- n = Número de años

Los resultados de los cálculos realizados se presentan en la Tabla 5.17.

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



Tabla 5.17 Resumen de las tarifas de facturación calculadas al año 2002 con un gasto de 40 L/s.

TARIFA	VALOR PRESENTE
Tarifa de Operación	59,769,598.00
Tarifa Variable	2,703,447.27
Tarifa Financiera	40,295,516.65
Tarifa de Inversión	37,519,165.03
Total de ingresos por Tarifa	243,181,397.88

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El valor presente de la planta a 12 años con una capacidad de 40 L/s es:

Valor presente de la planta a 12 años (40 L/s)	\$ 243,181,397.88
---	--------------------------

5.3.6 Valor de rescate de la planta.

Para realizar el cálculo del valor de rescate de la planta se consideró la tarifa de inversión antes mencionada (ecuaciones 5.1 y 5.2) y ésta contempla la amortización de las inversiones realizadas por la PTAR; se determinó el valor de la planta considerando que las tarifas a pagar por el valor de rescate de la planta serían solamente, la tarifa de inversión (ecuación 5.1 y 5.2) y la tarifa financiera (ecuaciones 5.3 y 5.4) pendientes de pago señaladas en las tablas de depreciación tanto en su componente de la inversión financiada en moneda nacional como la financiada en moneda extranjera, y actualizadas hasta la fecha que se fije para la formalización de la compra, más un valor igual al de un año de utilidades antes de impuestos pendientes de recibir por parte de la PTAR, mismo que fue calculado tomando como base su oferta económica-financiera.



El valor de la planta constituirá el monto a pagar por la refinería o por quien ella designe, a favor de la PTAR, en la fecha de entrega de la planta.

La ecuación para el cálculo del valor de rescate es la siguiente:

$$PA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{TI + TF}{\left(1 + \frac{0.12}{12}\right)^i} \right) + F - S \quad \text{ECUACIÓN 5.15}$$

En donde:

PA = Precio de compra de la planta

TI = Tarifa de Inversión mensual no amortizada, actualizada

TF = Tarifa Financiera mensual no amortizada

i = El número del mes en que ocurrió la terminación de operación de la PTAR

n = El número total de meses desde el mes en que ocurrió el evento hasta la terminación de la operación de la PTAR.

F = Los costos razonables y documentados de la PTAR que surjan de la terminación de operación, incluyendo cualquier penalización por prepago de la deuda, establecida en los acuerdos financieros siempre y cuando la misma sea razonable de acuerdo con las prácticas de mercado. En este caso se estimó este rubro como el 15 % de la inversión inicial.

S = Los fondos percibidos o por percibir como consecuencia del cobro de pólizas de los seguros que la PTAR debe mantener de conformidad con la estructura financiera; más la suma de los deducibles que hubiere negociado la PTAR con su

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Aristóteles



asegurador, hasta alcanzar los límites de cobertura contratada, menos cualquier parte de cualquier parte de tal cantidad que hubiere sido reinvertida por la PTAR en la reparación de daños originados por el evento que de lugar a la terminación, en tanto tales costos de reparación sean razonables y estén debidamente documentados. Se consideró que el valor de este rubro es del 1% de la inversión inicial.

Con base en lo anterior se calculó que:

Valor de rescate de la planta	\$ 140,979,077.61
-------------------------------	--------------------------

Los resultados obtenidos en la evaluación económica de la PTAR con un correspondiente redondeo en el presente y a futuro se resumen en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Resumen de cálculos financieros.

Valor actual de la planta	\$ 275,000,000.00
Valor futuro de la planta a 12 años (240 L/s)	\$ 1,000,000,000.00
Valor presente de la planta a 12 años (240 L/s)	\$ 249,000,000.00
Valor futuro de la planta a 12 años (40 L/s)	\$ 630,749,917.18
Valor presente de la planta a 12 años (40 L/s)	\$ 243,200,000.00
Valor de rescate de la planta	\$ 141,000,000.00

Con base en la tabla anterior se puede concluir que la opción económicamente rentable para la refinería sería concluir el contrato y pagar el valor de rescate de la planta ya que

Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito.

Acistóteles

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



con ello se tendría que pagar el menor monto, esto se debe principalmente a que de acuerdo con el análisis de la facturación de la PTAR, cada metro cúbico de agua tratada cuesta \$43.6 M.N. (flujo 40 L/s). Este costo es considerablemente mayor al del agua cruda extraída de pozos (\$5.54/m³).

En consecuencia el funcionamiento de la PTAR, desde el punto de vista económico no es rentable para la refinería; aunque desde el punto de vista ambiental, la operación de la PTAR podría justificarse por la reducción de emisión de contaminantes a cuerpos receptores de agua y por la reducción del consumo de agua de pozos en torres de enfriamiento.



CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones

1. Con base en los análisis de la calidad del agua se concluye que más del 80% del volumen de diseño no llega a la PTAR y que de los 19 parámetros fisicoquímicos analizados, la refinería entrega el agua residual con 12 de ellos por debajo de la especificación establecida en el diseño y 6 por arriba del mismo, de manera particular, la DBOs, los fenoles y el nitrógeno total se encuentran excedidos en 74%, 833% y 228% de la concentración establecida en el diseño. En cuanto al efluente de la PTAR, se aprecia que la calidad del agua tratada no cumple con lo establecido en las bases de diseño, está excedida en 276 % con respecto a los compuestos nitrogenados; 228% con respecto a la dureza de Ca++; 50% en términos de dureza de Mg++ y 119% en cuanto a dureza total.
2. La PTAR, bajo el esquema original de tratamiento, no puede producir agua de calidad aceptable por la refinería, lo anterior, debido principalmente a la sobrecarga de compuestos nitrogenados contenidos en el agua residual ya que en el esquema actual de tratamiento de la planta no se cuenta con un sistema eficiente de remoción de nitrógeno.
3. El principal parámetro excedido en el agua que la PTAR retorna a la refinería, es el nitrógeno total, en su mayoría nitrógeno amoniacal, mismo que es atribuible a la propia refinería. En cambio el problema de sólidos suspendidos totales se debe principalmente a la baja eficiencia en el sistema de flotación por aire disuelto, debido a

El enemigo del amor no es el odio, sino el miedo.

Anthony de Mello



que el tiempo de retención hidráulico y la carga superficial de diseño se encuentran fuera de los los valores recomendados para el buen funcionamiento del sistema.

4. De manera particular, una posible forma de abordar la problemática del nitrógeno y sus posibles soluciones podría visualizarse a *grosso modo* de la siguiente manera:

3.1 Llevar a cabo su reducción por parte de la refinería

- a) Vía minimización mediante modificaciones en el proceso. ubicación de fuentes de generación y manejo adecuado de corrientes con alto contenido de nitrógeno
- b) Segregación y tratamiento de aquellas corrientes con alto contenido de nitrógeno antes de ser entregadas a la PTAR, pudiendo así tratar un volumen mayor de agua residual
- c) Tratamiento correctivo, para eliminación del nitrógeno en exceso presente en el agua que la PTAR entrega a la refinería.

3.2 Llevar a cabo su reducción en la PTAR

- a) Que la PTAR incorpore y/o complemente un tratamiento específico para eliminación de nitrógeno para lograr los valores requeridos por la refinería.
4. Para cumplir con los requerimientos de las bases de diseño se deben hacer modificaciones tanto en el sistema de tratamiento de la PTAR como en la producción y manejo de aguas residuales procedentes de la refinería
5. Desde el punto de vista económico, se considera que *a priori* resultará más económico invertir en estudios y obras que reduzcan la contaminación por nitrógeno desde la fuente de origen que sólo invertir en equipos adicionales y modificaciones en la PTAR para cumplir con la calidad requerida en las torres de enfriamiento.



6.2 Recomendaciones.

De manera general se recomienda:

1. Realizar las adecuaciones necesarias al tren de tratamiento existente en la PTAR a efecto de producir, bajo la situación actual de calidad y volumen de agua residual entregado por la refinería, agua tratada de la calidad requerida para ser usada en las torres de enfriamiento de la refinería.
2. Realizar las adecuaciones necesarias en la refinería a aquellos procesos involucrados en el aumento del contenido de compuestos nitrogenados que produce la refinería, a efecto de obtener la calidad de agua residual que debe recibir la PTAR, de acuerdo con las bases de diseño.
3. Realizar cambios significativos en la refinería, con el fin de eliminar aquellos compuestos que sobrepasen lo estipulado en las bases de diseño de la PTAR, con la finalidad de estar en posición de enviar a la PTAR y exigirle a la misma la calidad y volumen de agua indicados en las bases de diseño existentes.
4. Estudiar la posibilidad de segregar drenajes en la refinería y realizar un tratamiento específico a aquellas corrientes conteniendo altas concentraciones de compuestos nitrogenados.
5. Revisar la estructura financiera de la PTAR para acordar que la tarifa de operación variable sea congruente con la realidad de la capacidad actual de la planta (40 L/s) y/o que
6. Se realicen pruebas de tratabilidad con el efluente final de la refinería con el fin de seleccionar el o los procesos que serán necesarios modificar y/o construir para obtener un agua tratada con la calidad adecuada para ser utilizada en torres de

El enemigo del amor no es el odio, sino el miedo.

Anthony de Mello



tratamiento. Estas pruebas deben ser fundamentadas en un plan experimental sólidamente diseñado.

- a) Pretratamiento fisicoquímico
 - b) Combinaciones de fases anóxicas, anaerobias y aerobias
 - c) Remoción de nitrógeno
 - d) Pruebas de toxicidad
7. Sería altamente conveniente definir aplicaciones alternas del agua tratada (por ejemplo, para agua contraincendio, uso en mantenimiento, riego de áreas verdes, etc.)
9. Es ampliamente recomendable que se realice un estudio integral del uso, aprovechamiento y reciclaje de agua, a efecto de abordar de manera integral este tipo de problemática. De igual forma, podría iniciarse la solución a la problemática detectada, circunscribiendo el estudio a realizar a la problemática relacionada con los compuestos nitrogenados presentes en las aguas residuales generadas al interior de la refinería.



CAPITULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajenjo A.D. (2000) *"Dirección y Gestión de Proyectos: Un enfoque práctico"*. Ed. Alfaomega.
- Asociación de Ingenieros Petroleros de México (2001). *"Memoria del XL Congreso Nacional"*.
- Baca Urbina G.(2001) *"Evaluación de proyectos"*. Ed. McGraw Hill.
- Baker. G.(2002), *"Mexico's Energy Future"*. Oil and Gas Journal, Feb 2002.
- Bali, Whisman y Wenger (1981) *"Content of nitrogen in wastewater"*. Ind. Eng. Chem. Vol. 43. Apr 1981.
- Cortez Vallierra J.A. (1982) *"Tratamiento de agua en corriente lateral de una torre de enfriamiento"*. Tesis, Fac. de Química, UNAM.
- Davis. M.L. y Comwell D.A. (1991) *"Introduction to Environmental Engineering"*. Ed. McGraw Hill.
- Durán Moreno A. y Pérez García E.S. (1991), *"Manual de selección de sistemas de enfriamiento de agua"*. Tesis, Fac. de Química, UNAM.
- García Torres L.A. y Sánchez Moreno J.U.A (1979) *"Modelo para el diseño de torres de enfriamiento aire-agua de flujo cruzado"*. Tesis, Fac. de Química, UNAM.
- Gary J.H. (1994), *"Petroleum Refining: Technology and Economics"*. Ed. Marcel Dekker Inc.
- Gruse. W.A. y Stevens. D.R.(1979), *"Tecnología Química del Petróleo"*. Ed. Omega. V.1.
- Iovi. E.J. (1989) *"Cooling Water Treatment"*. Chem. Eng. Apr 1989.
- Jones D.S.J. (1995), *"Elements of Petroleum Processing"*. Ed. John Wiley and Sons.



-
- Mao J.C.T. (1986) "Análisis Financiero". Ed. El Ateneo.
 - Maxted (1978) "Hydrocracking". J. Soc. Chem. Ind. Vol. 67. No. 93. Nov 1978.
 - McKetta J.J. (1998) "Encyclopedia of Chemical Processing and Design". Ed. Marcel Dekker Inc, V.11 y V.65.
 - Meigs W.B. (1970) "Valor presente", Ed. McGraw-Hill, México
 - Metcalf y Eddy (1996) "Ingeniería de las aguas residuales". Ed. McGraw Hill.
 - Montaña A. (1992) "Administración de las inversiones", Editorial PAC, México.
 - Nelson W.L. (1958), "Petroleum Refinery Engineering". Ed. McGraw Hill. 1958.
 - Nilsen. F.P., Nilsen I.S.L. y Lidal H. (2002), "Novel contacting technology selectively removes H₂S". Oil and Gas Journal. May 2002.
 - Perry R.H., Chilton H.C. (1994), "Manual del Ingeniero Químico". McGraw-Hill. 6ª Edición.
 - Petrol. Intell. Wkly. (Enero 2002). "Annual Report".
 - Petróleos Mexicanos (2001) "Informe de seguridad, salud y medio ambiente".
 - Petróleos Mexicanos (2001) "Reporte Anual de Actividades".
 - Ramhalo S (1996) "Tratamiento de aguas residuales". Ed. Reverté.
 - Rigola Lapeña M. (1999) "Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales". Ed. Alfaomega.
 - Ritcher, Caesar, Meisel y Offenhauer (1982), "Compound of nitrogen in oil". Ind. Eng. Chem. V44. March 1982.
 - Rodier J. (1990) "Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar, química, fisicoquímica, bacteriológica y biológica". Ed. Omega.
 - Sauer, Melpolder y Brown (1983), "Extraction of nitrogen compounds". Ind. Eng. Chem. V.71. Oct 1983.
 - Secretaría de Energía (2001) "Balance Nacional de Energía 2001".
-



-
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales".
 - Silverstein R.M. y Curtis S.D.(1971), « *Cooling Water* ». Chem. Eng. August 1971.
 - Spencer G.R, Jr (1983) "*Program for Cooling-water. Corrosion and Scaling*". Chem. Ing. Sept 1983.
 - Stell. Jeannie (2002); "*Worldwide Construction Update*". Oil and Gas Journal, Apr 2002.
 - Thompson, Chenicek, Druge y Simón (1981) "Petroleum Refinery". Ind Eng. Chem. V43. 1981.
 - Viscione J.A. (1998) "Análisis Financiero. Principios y Métodos". Ed. Limusa, México.

PÁGINAS WEB.

- www.banxico.org.mx
- www.boe.fin.ec
- www.data.bls.gov
- www.epa.gov
- www.imp.mx.
- www.pemex.com
- www.wastewater.com



El trío fantástico: Adri, Itzel y Ale.



La quema de batas:
Las ingenieras

TESIS
FALLA DE ORIGEN



La Facultad de Química: Amigos

Fiesta-Graduación: Hermanas



Mi familia: Edi, Chaco, Kathy e Itzel

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN