

00568
3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**IMPACTO DEL CONCEPTO DE DESARROLLO
SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA
DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN
REFINERÍAS**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA
(INGENIERÍA DE PROYECTOS)**

P r e s e n t a :

GERARDO ALFREDO JIMÉNEZ ANGULO



México, D.F.

Ciudad Universitaria

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE QUÍMICA
DIRECCIÓN**

BIOL. FRANCISCO J. INCERA UGALDE.
Jefe de la Unidad de Administración del Posgrado.
Presente.

Me es grato informarle que el alumno **GERARDO ALFREDO JIMÉNEZ ANGULO** presentará próximamente su examen para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Química (Proyectos) (Clave 468) ante el siguiente jurado:

Presidente:	Dr. Julio Ricardo Landgrave Romero
Primer Vocal	Dr. Constantino Alvarez Fuster
Secretario:	M. en C. Roberto del Río Soto
Primer Suplente:	M. en A. Fernando Báez Ramos
Segundo Suplente:	M. en C. Alfonso Durán Preciado

Sin otro particular de momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., 17 de abril de 2001.

El Director

M. EN C. SANTIAGO CAPELLA VIZCAINO

C.c.p. Integrantes del Jurado
C.c.p. Coordinador de Área
C.c.p. Departamento de Control Escolar
C.c.p. Interesado
*ggm.

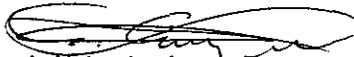
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Marzo 19 de 2001

DR. JULIO LANDGRAVE ROMERO
Coordinador de la Maestría en Ingeniería
y Administración de Proyectos

Por medio de la presente doy mi aprobación a la Tesis "IMPACTO DEL CONCEPTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN REFINERÍAS", desarrollada por el Ing. Gerardo Alfredo Jiménez Angulo para optar por el grado de Maestría en Ingeniería (Proyectos).

Atentamente



M. en I. Alejandro Anaya Durand



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Al M. en I. ALEJANDRO ANAYA DURAND, mi más sincero agradecimiento por sus valiosas recomendaciones, por el tiempo dedicado a la dirección y revisión de esta tesis; y sobre todo, por ser ejemplo brillante para mi desarrollo profesional y para muchas generaciones de ingenieros químicos.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Agradezco al Instituto Mexicano del Petróleo y a ICA-Fluor Daniel todas las facilidades brindadas para la ejecución del presente trabajo.

Doy las gracias a todos los miembros del jurado, por sus importantes comentarios y sugerencias, que condujeron al enriquecimiento de esta tesis.

También a todas las personas que en algún momento me alentaron o colaboraron para llevar a buen término esta difícil tarea.

Quiero dedicar esta tesis a **la memoria de mis padres**, por su ejemplo de tenacidad y perseverancia en la vida.

A **mis hermanas, cuñados y sobrinos** quienes han sido siempre una gran unidad familiar y me han apoyado siempre de manera positiva.

A mi esposa, **Ma. del Socorro Ruiz Palma** por todo el amor, comprensión y apoyo que me brindó durante el desarrollo de la maestría y de la tesis.

Sobre todo, dedico el presente trabajo a mis hijos **Gerardo Antonio, Diana Sofía y Gustavo Alfredo** a quienes exhorto para que pongan toda su dedicación y empeño en sus actividades como estudiantes y en su vida personal.

RESUMEN

TEMA: IMPACTO DEL CONCEPTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN REFINERÍAS

Los años recientes se han distinguido por la aplicación del concepto de planeación estratégica en la administración de proyectos de ingeniería. La piedra angular de este tipo de planeación es el concepto de **desarrollo sustentable**, el cual pretende la ejecución de proyectos que vigilen simultáneamente ecología, economía y energía, así como los aspectos legal, social y de recursos naturales; que sirvan como base de un futuro industrial positivo y predecible que conduzca al desarrollo armónico de la sociedad.

Actualmente, se han impulsado los proyectos llamados de "descarga cero" de efluentes acuosos, los cuales se denominan de "uso integral del agua", y han conducido a grandes beneficios dentro del marco del desarrollo sustentable.

Sin embargo, existe un creciente interés en la industria de refinación del petróleo por recuperar los condensados limpios y aceitosos, provenientes de las plantas de proceso y de fuerza que conforman una refinería, para reutilizarlos en la producción de vapor en las calderas de alta presión, lo cual complementaría el uso integral del agua en refinerías.

El presente trabajo tiene como objetivo, encontrar el efecto que tiene el desarrollo sustentable en la formulación, desarrollo y ejecución de proyectos de recuperación de condensados en refinerías de nuestro país, así como determinar el impacto que, a su vez, tiene un proyecto de este tipo en los seis aspectos antes mencionados que conforman el desarrollo sustentable.

Se incluyen las ideas fundamentales que sirven de guía estratégica en el desarrollo de proyectos de tratamiento de condensados, para que estos resulten exitosos tanto en calidad como en tiempo y costo.

Se hace el estudio del caso particular del Proyecto de una Planta de Tratamiento de Condensados, en la Refinería de Cadereyta, para sustituir la planta existente, actualmente obsoleta y en virtud de los grandes problemas de escasez de agua en esta refinería.

Se dan las recomendaciones y conclusiones necesarias para conducir a este tipo de proyectos a resultados satisfactorios.

CONTENIDO:

CAPÍTULO	Página
1. INTRODUCCIÓN	3
2. DESARROLLO SUSTENTABLE Y LOS PROYECTOS ECOLÓGICOS	7
2.1 EL DESARROLLO SUSTENTABLE	8
2.2 LOS PROYECTOS ECOLÓGICOS Y LA NORMATIVIDAD VIGENTE	17
3. GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTO DE CONDENSADOS	24
4. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	30
4.1 INTERCAMBIO IÓNICO	32
4.2 ÓSMOSIS INVERSA	36
4.3 ULTRAFILTRACIÓN	38
4.4 ELECTRODIÁLISIS	38
4.5 ELECTRODEIONIZACIÓN	39
4.6 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS	43
4.7 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	46
5. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE CONDENSADOS DE LA REFINERÍA DE CADEREYTA	49
5.1 MARCO ACTUAL DE DESARROLLO DEL PROYECTO	50
5.2 PREPARACIÓN DE LAS BASES DE CONCURSO	56
5.3 INGENIERÍA CONCEPTUAL	77
5.4 INGENIERÍA DE COSTOS	84
5.5 IMPACTO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS	118
5.6 IMPACTO DEL PROYECTO EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE	121
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
7. BIBLIOGRAFÍA	133

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable se define, en principio, como la conservación de los recursos naturales de un sistema ecológico, sin embargo, en la actualidad se ha ampliado el significado de este término en virtud de que la correcta conservación de los recursos naturales tiene grandes nexos con el manejo de los recursos económicos y los energéticos, razón por la cual, ahora debe entenderse que el desarrollo sustentable se refiere al **desarrollo armónico de la sociedad con la óptima utilización de recursos ecológicos, económicos y energéticos.**

Cuando se dice que un proyecto tiene un enfoque de desarrollo sustentable significa que se han contemplado estos tres aspectos durante su ejecución.

En un sentido más amplio, el desarrollo sustentable requiere se contemplen los aspectos de orden social, legal y de recursos naturales, tanto en el presente como en el futuro.

Está claro que la conservación de un ecosistema implica la preservación de los recursos naturales, en virtud de que la alteración de un recurso natural puede romper el equilibrio de un ecosistema.

En el aspecto social, cuando se desarrolla un proyecto de ingeniería y construcción, deben contemplarse los beneficios y/o perjuicios que se producirán sobre la sociedad, por ejemplo si se generarán subproductos que causen contaminación, generación de empleos, llevar agua o energía a poblaciones atrasadas.

En cuanto al factor legal, las sociedades cuentan con leyes, reglamentos y normas que tienen que cumplirse, para que un proyecto sea viable. La planeación de un proyecto debe tomar en cuenta todos los aspectos legales que deben cubrirse para la correcta ejecución del mismo.

La década de los noventa se ha distinguido por la aplicación del concepto de planeación estratégica en la administración de proyectos de ingeniería y construcción. Se considera que la planeación estratégica contempla objetivos de largo plazo en las empresas, las cuales llegan a estos objetivos a través de la ejecución de múltiples acciones y proyectos. Toda esta actividad debe tener como piedra angular el concepto de **desarrollo sustentable**, el cual permite tener un enfoque directivo durante la ejecución de proyectos que vigilen simultáneamente ecología, economía y energía, así como los aspectos social, legal y de recursos naturales; como base de un futuro industrial positivo y predecible. Asimismo, este enfoque permite la correcta orientación de los objetivos a largo plazo y motiva la competitividad de las empresas. La coincidencia de los conceptos de planeación estratégica y desarrollo sustentable convergen necesariamente en la visión del futuro de una sociedad armónica.

Actualmente, se ha dado un paso enorme al impulsar los proyectos que tienen como objetivo alcanzar la "descarga cero" de efluentes acuosos, los cuales se denominan de "uso integral del agua", y han conducido a grandes beneficios dentro del marco del desarrollo sustentable.

Existe un creciente interés en la industria de refinación del petróleo por **recuperar los condensados limpios y aceitosos** provenientes de las plantas de proceso y de fuerza que conforman una refinería, para reutilizarlos en la producción de vapor en las calderas de alta presión.

Sin embargo, estos proyectos no han tenido el impulso suficiente, porque no se les ha dado el enfoque de sustentabilidad, retardando los beneficios que en el mismo sentido producen las plantas de uso integral del agua.

El objetivo del presente trabajo de tesis es encontrar el efecto que tiene el desarrollo sustentable en los aspectos técnicos y

económicos que forman parte de la formulación y desarrollo de proyectos de recuperación de condensados en refinerías, así como explorar qué sucede en ausencia de este concepto.

El alcance del presente trabajo, incluye el desarrollo de las ideas fundamentales que deben considerarse como guía estratégica en el desarrollo de proyectos de tratamiento de condensados, para que estos resulten exitosos tanto en calidad como en tiempo y costo, partiendo del concepto de desarrollo sustentable.

Para lograr lo anterior, se hace una descripción de cómo las plantas que constituyen una refinería de petróleo consumen vapor de media y de baja presión, que se retornan como condensado de media y de baja respectivamente, y cómo un porcentaje significativo de éstos no se recupera o se somete a un tratamiento no satisfactorio.

Se hace el estudio del caso del Proyecto de una Planta de Tratamiento de Condensados, la cual se instalaría particularmente para sustituir la planta de condensados existente, en la Refinería de Cadereyta, que actualmente presenta un dinámico crecimiento de capacidad por la instalación de nuevas plantas debido a las exigencias del mercado nacional de productos de refinación y petroquímicos, además de que históricamente es una refinería con grandes problemas de escasez de agua.

Se dan las recomendaciones y conclusiones necesarias para conducir a este tipo de proyectos a resultados satisfactorios.

CAPÍTULO 2. EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LOS PROYECTOS ECOLÓGICOS

2. EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LOS PROYECTOS ECOLÓGICOS

2.1 EL DESARROLLO SUSTENTABLE

La evolución del hombre y de las sociedades se puede seguir a través de las innovaciones tecnológicas y por el tipo de sistema administrativo que ha permitido los cambios tecnológicos. De esta manera, las innovaciones tecnológicas indican el grado de desarrollo de una sociedad ya que nos permite observar las velocidades con las que se han realizado los cambios de las sociedades, desde la época prehistórica, pasando por la Revolución Industrial del siglo XVIII hasta nuestros días.

En el siglo XVIII se inició en Europa, particularmente en Inglaterra y Francia, un proceso de aplicación de conocimientos empíricos y científicos a la obtención de productos necesarios a la sociedad, en una escala que superaba ampliamente lo obtenido en un laboratorio y con objetivos de lanzarlos al mercado para su venta. Es decir, se inició la industrialización, y con ella toda una serie de problemas que tienen que ver con el deterioro de nuestro planeta por efecto de toda una serie de sustancias que van al ambiente.

Es una idea clara dentro del campo de la ingeniería química la gran influencia y el impacto que ha tenido el desarrollo de la industria química y en general la industria de proceso en incrementar el bienestar de la sociedad y en brindar mejores alternativas de vida a los seres humanos, al ofrecerles una amplia diversidad de materiales y productos indispensables para uso en el hogar, la oficina, el transporte, la vivienda, las actividades recreativas. Lo anterior significa que la industria y la tecnología química es indispensable para la vida actual.

La industria química en particular genera toda una gama de efluentes líquidos y gaseosos y residuos sólidos los cuales al enviarse al ambiente producen daños irreparables a la frágil

biósfera de la tierra. Nuestra sociedad actual cuenta con una población en constante y desmesurado aumento, lo que repercute en un desarrollo tecnológico que trata de resolver los problemas y que tiene una incesante necesidad de expansión, lo cual conduce a un deterioro ambiental mayor a cualquier Era precedente. O sea que la tecnología moderna ha proporcionado grandes beneficios a la población, tales como un mayor tiempo promedio de vida, mejores viviendas y vestidos, grandes beneficios en el campo de la transportación, decremento en las labores manuales y mayores facilidades para lograr la preparación de la sociedad mediante el mejoramiento de los medios de comunicación.

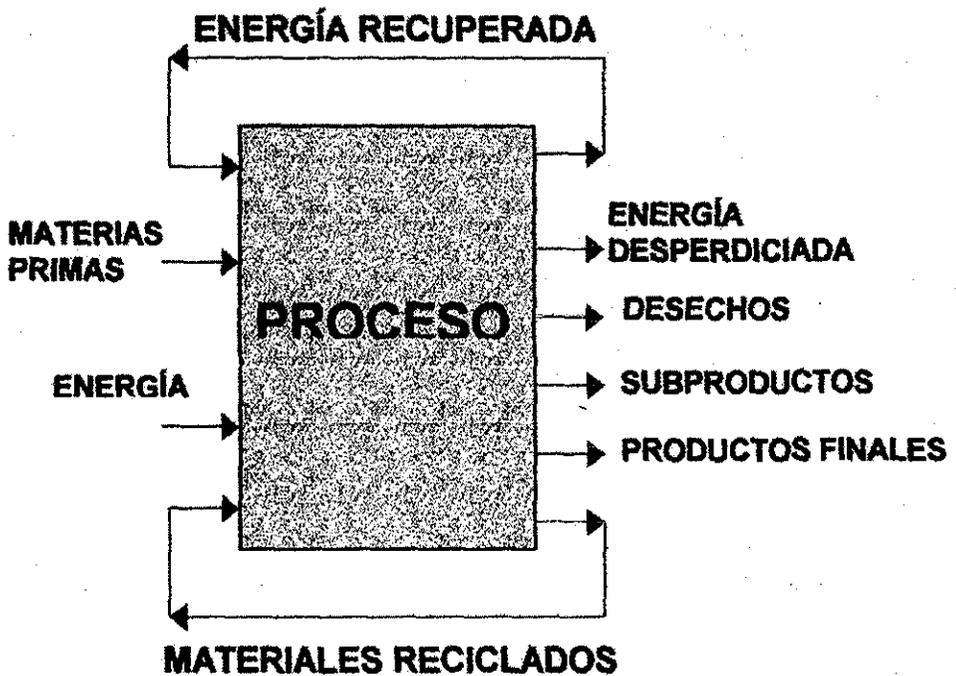
Actualmente, existe una preocupación creciente por encontrar cuáles deben ser las relaciones que deben existir entre el desarrollo industrial, el desarrollo económico y el desarrollo ecológico para lograr una armonía que conduzcan a lo que se ha denominado un desarrollo sustentable para la humanidad y el planeta que habitamos, la Tierra.

Desde el punto de vista de la ingeniería química sabemos que un proceso consiste en una serie de operaciones unitarias, las cuales son los pasos en los que se van convirtiendo las materias en productos terminados, con el empleo siempre de algún tipo de energía ya sea mecánica, térmica, eléctrica, etc. (Ver figura 2.1).

Lo importante se consideraba que era lograr que los productos cumplieran con las especificaciones requeridas por el mercado, desatendiendo el aspecto de cuántos o cuáles contaminantes se enviaran a la atmósfera, al arroyo, al río, al mar o al suelo. Es un punto de vista en la que la función del ingeniero químico acaba en las chimeneas de los proceso o en las aguas residuales que se envían al cuerpo receptor.

Algunas empresas se dedican a producir para romper sus registros anteriores de producción, sin importar el costo económico o el ecológico o el de la energía.

Figura 2.1. Esquema Generalizado de un Proceso Industrial



En un pasado reciente se pensó en que no había relación directa entre la aplicación de la tecnología para transformar los materiales y la energía y el uso de las innovaciones tecnológicas para evitar la contaminación en el ecosistema que rodea las plantas. Se consideraban como dos campos diferentes la producción y la ecología. Por otro lado tampoco se entendía que hubiera una relación estrecha entre la ecología y la economía ni a escala local, regional o global.

La actividad industrial se ha enfocado a satisfacer las necesidades de sus clientes, bajo el concepto de calidad, lo cual se considera como un aspecto esencial del negocio. Es decir que la planeación del desarrollo industrial ha presentado deficiencias en cuanto a la identificación de algunas de las consecuencias a largo plazo de las formas a través de las cuales se satisfacen las necesidades de los clientes. Por ejemplo, la necesidad del pasado fue incrementar la producción de alimentos mediante la fertilización del suelo, para lo cual se aportó una solución que fue el incremento en la producción de fertilizantes nitrogenados y fosfatados; el problema actual es la contaminación de acuíferos ocasionada por tales compuestos.

La orientación de la planeación industrial ha sido el beneficio de la sociedad pero ha faltado la asociación de la tecnología para satisfacer clientes con la tecnología requerida para evitar o disminuir las consecuencias ambientales en el corto o mediano plazo.

El desarrollo actual de las sociedades está ligado necesariamente a la forma como usamos, procesamos, disponemos, recuperamos, o reciclamos materiales y energía. Por esa razón, resulta obligado el razonamiento de que no se puede seguir un uso ineficiente de recursos materiales y energía en la forma que se ha venido haciendo, se requiere orientar la planeación industrial hacia un camino sustentable.

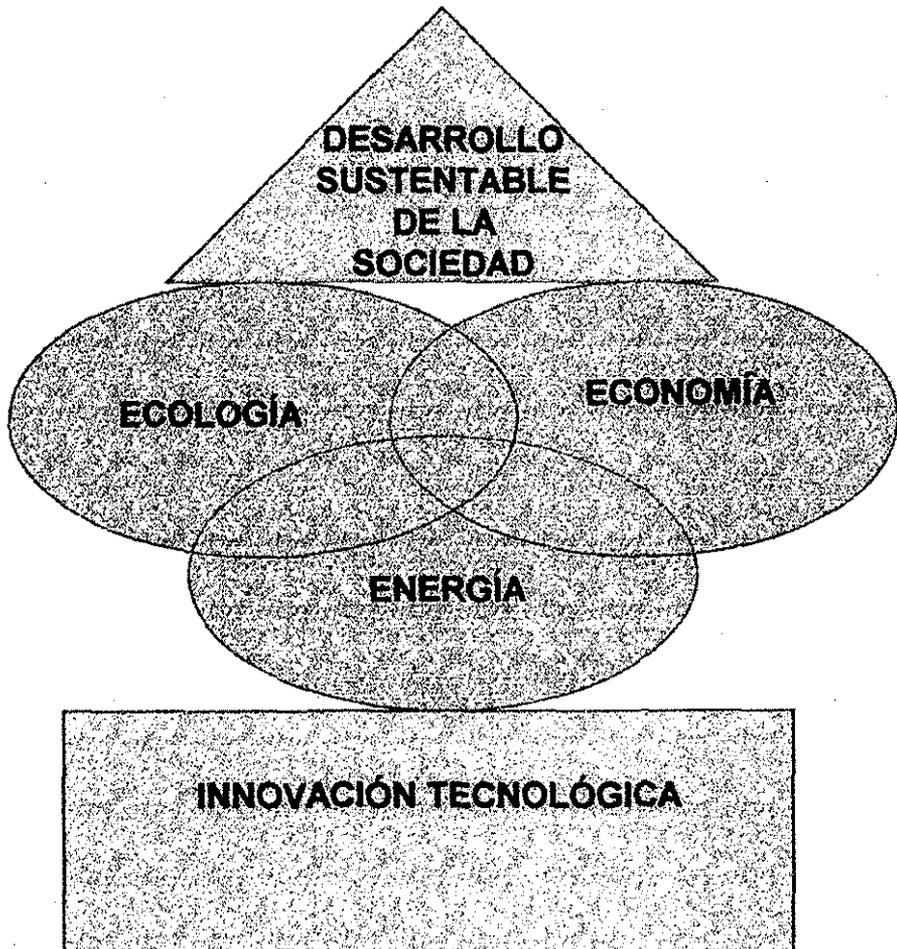
Se ha propuesto un nuevo modelo que garantice el desarrollo sustentable de la humanidad en el largo plazo, el cual está basado en la armonía de las interrelaciones que deben existir entre Energía, Ecología y Economía. Este modelo se denomina modelo de las tres E's, en donde la innovación tecnológica hace la función de infraestructura o soporte de estos tres rubros. Este concepto fue tomado de: "DEL RÍO, S.R. Tecnología y Desarrollo Sustentable. Nuevo Paradigma. Monterrey, N.L., México, oct. 2-4, 1996. XXXVI Convención Nacional IMIQ, pp.1-9." (Ver Figura 2.2)

En este modelo el concepto de energía considera la transformación eficiente, racional y ética de la energía renovable y no renovable; Esto es, la transformación de materiales para un desarrollo industrial responsable, consciente y comprometido con los clientes, el medio y la sociedad de la que forma parte.

La Ecología comprende la ecología industrial, la cual es el medio por el cual la humanidad enfoca racionalmente un desarrollo sustentable considerando la evolución económica, social, cultural y tecnológica de manera continua. Así, el sistema industrial es analizado en interrelación con el ambiente que le rodea.

Por Economía se interpretan las principales relaciones macroeconómicas entre la tecnología (que implica Energía y Ecología) y el crecimiento o desarrollo económico de un país o de la humanidad en forma global. Una mayor inversión puede incrementar la productividad total, y por consiguiente el bienestar económico en el largo plazo de dos formas principales. La primera, es conducir a una rápida difusión y adopción de nuevas tecnologías y métodos de producción. La segunda forma, que las nuevas teorías del crecimiento dicen que una mayor inversión en capital físico y en recursos humanos crean externalidades y dan efectos de economías de escala. Estas teorías enfatizan el papel de los retornos en la economía a través de la inversión en investigación y desarrollo, formación de capital humano y en la inversión en difusión y promoción del cambio tecnológico.

Figura 2.2. El Modelo de las Tres E's para el Desarrollo Sustentable



El modelo de las tres E's es la base sobre la que se ha construido el concepto de desarrollo sustentable. Sin embargo, poco a poco se ha tenido que desarrollar un **Modelo Ampliado de Desarrollo Sustentable**, que como ya se esbozó en la introducción del presente trabajo, contempla también aspectos de orden social, legal y de recursos naturales.

Está claro que la conservación de un ecosistema implica la conservación de los recursos naturales, en virtud de que la afectación de un recurso natural puede romper el equilibrio de un ecosistema.

Se debe tener mucho cuidado con este aspecto, ya que no siempre las consecuencias de la instalación de una planta de proceso no son siempre completamente evidentes; por ejemplo, una planta puede consumir cantidades relativamente pequeñas de un recurso como puede ser el agua de un río y no por esto el río se va a agotar, pero puede ocurrir que por razones intrínsecas al proceso se descargue un efluente, que aunque cumpla con los máximos permisibles de contaminantes, no cumpla con la temperatura permisible de descarga al río. Una temperatura más alta producirá la exterminación de ciertos microorganismos, lo cual provocará que se rompa la cadena alimenticia, propiciando la desaparición de seres mas complejos, tales como las truchas, produciendo un efecto notable en este ecosistema. Como puede verse, la afectación de los recursos naturales debido a quizá pocos grados de temperatura por encima de lo permisible, puede resultar muy grande.

En el aspecto social, cuando se desarrolla un proyecto de ingeniería y construcción, deben contemplarse los beneficios y/o perjuicios que se producirán sobre la sociedad, por ejemplo si se crearán nuevos empleos, si se generarán subproductos que causen contaminación de agua aire o suelo, afectación a ejidatarios, impulso o daño a vías de comunicación, carreteras, puentes, e incluso las afectaciones sobre áreas arqueológicas que deban protegerse.

En la actualidad, los aspectos sociales, ecológicos y de conservación de los recursos naturales está regulado desde un punto de vista legal, es decir las sociedades cuentan con leyes, reglamentos y normas que tienen que cumplirse, para que un proyecto sea viable. La planeación de un proyecto debe tomar en cuenta todos los aspectos legales que deben cubrirse para el correcta ejecución del mismo. En nuestro país, cuando se concursa en una licitación pública, deben cubrirse los lineamientos establecidos por la Ley de Obra Pública, lo cual es un aspecto que pertenece a la sociedad mexicana. El proyecto también debe cumplir con La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y también con las normas oficiales mexicanas que establecen los máximos permisibles de descarga a suelo, acuíferos y a la atmósfera.

Por otro lado, también es importante señalar el papel que juega el aspecto de la innovación tecnológica como soporte del desarrollo industrial y ecológico, ya que el significado del término ha cambiado grandemente en tiempos recientes. Se han desarrollado modelos interactivos, que difieren de los llamados enfoques lineales porque enfatizan el papel esencial del diseño industrial y los efectos de la retroalimentación entre las distintas fases de la innovación como son: Investigación y desarrollo, diseño, ingeniería, producción, ventas, finanzas, mercado, proveedores, clientes. Así también toman en cuenta las interacciones entre ciencia, tecnología, y otras actividades relacionadas con la innovación dentro y fuera de las compañías.

Debe reconocerse que el mal uso de la tecnología o el uso de una tecnología inapropiada ha sido fuente de diversos problemas ambientales, pero es solo a través de la aplicación de innovaciones tecnológicas apropiadas que puede abatirse al mínimo la contaminación presente y futura. La tecnología no puede por sí sola transformar la visión que se propone, sino que debe funcionar en congruencia con los demás factores sociales, en particular,

modificando el patrón de consumo de productos poco funcionales que requieren en su elaboración de altos consumos de energía y materiales no renovables, dañando el ecosistema al producirlos y usarlos, con un consecuente costo económico que la sociedad en su conjunto absorbe.

Es impostergable un cambio de enfoque en la planeación de proyectos hacia la protección de la naturaleza, recordando que la atmósfera y los acuíferos no son basureros universales. Se deben restablecer los ciclos ecológicos naturales de nuestro planeta. Una planeación estratégica que considere la visión del desarrollo sustentable futuro es el fuerza motriz de grandes beneficios para las generaciones venideras.

2.2 LOS PROYECTOS ECOLÓGICOS Y LA NORMATIVIDAD VIGENTE

Durante las décadas de los 70's y los 80's se manejaron en la literatura abierta, tratamientos tendientes a lograr el objetivo de " la Descarga Cero".

Por un lado, se buscaron procesos más eficientes y que, por consiguiente generaran menos subproductos y efluentes hacia el medio ambiente; y por otro, el diseño de los tratamientos existentes se encaminó a cumplir con la normatividad ambiental vigente y a obtener agua para reutilizarse en los diferentes servicios de las plantas de proceso.

Dentro de este marco general, en México se comenzó a desarrollar el concepto de "Uso Integral del Agua en Refinerías"

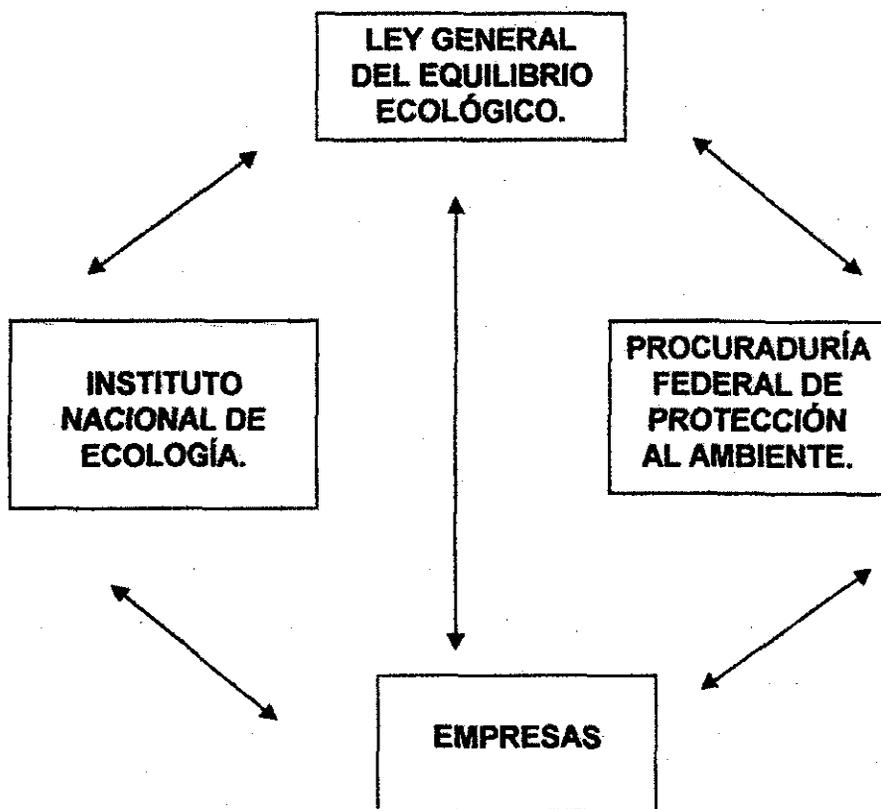
2.2.1. LA NORMATIVIDAD VIGENTE

Cuando se proyecta, se instala, se construye o se opera una planta industrial debe considerarse siempre la normatividad ambiental, que regula la emisión de efluentes líquidos fuera de las plantas mencionadas.

La normatividad en México ha evolucionado desde 1971, cuando la Secretaría de Salubridad y Asistencia y la de Agricultura y Ganadería emitieron un reglamento para controlar las descargas hacia cuerpos naturales de agua y al alcantarillado público.

A partir de 1992 se crea la actual estructura básica, conformada por un órgano normativo (el Instituto Nacional de Ecología) y otro de vigilancia (la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). La Ley vigente es la General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de 1988, de la cual emanan una serie de reglamentos, normas y otros ordenamientos jurídicos.

Fig. 2.3 la normatividad ecológica



En junio de 1988 se generaron normas que estaban clasificadas por el tipo de actividad industrial. Así, había normas para la industria del plástico, del azúcar, del papel y celulosa, de la refinación del petróleo, etc.

La política ambiental ha adoptado recientemente el enfoque de sustentabilidad del desarrollo, el cual analiza la regulación ambiental desde una óptica que contempla los factores económicos y sociales.

“La Manifestación de Impacto Ambiental” se ha consolidado como un mecanismo preventivo. Hasta la fecha, se han otorgado a la industria miles de licencias, tanto en materia atmosférica como del agua, con base en la presentación de la manifestación ambiental y con el criterio de un desarrollo sustentable.

Actualmente, se cuenta en México con la norma NOM-001-ECOL-1996, la cual se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 6 de enero de 1997, y que ha cambiado el enfoque anterior, por tipo de industria que venía aplicándose desde 1988, hacia un enfoque de límites máximos permisibles generales.

En Europa, la tendencia que ha seguido la normatividad es la del mejoramiento de las técnicas analíticas, lo cual hizo olvidar un poco el verdadero objetivo de una regulación ambiental.

En el caso de Estados Unidos, el enfoque de la regulación ambiental fue definir primero los niveles permisibles, y segundo definir los medios para alcanzar estos niveles. Las principales regulaciones pasan por la Environmental Protection Agency (EPA) y luego se obtienen las autorizaciones de los Estados que las ratifican o modifican, sin que sean más laxas que las de la EPA.

La evolución de la normatividad mexicana, la cual ha seguido en muchos sentidos, los pasos de la extranjera; condujo a los

proyectos de norma de 1993 a 1994, varios de los cuales no se aprobaron. Lo positivo de este hecho reside en que se logró alertar a los industriales acerca de la necesidad de modernizar equipos y tecnologías y de capacitar al personal.

La NOM-001-ECOL-1996, que es la que actualmente rige en nuestro país, establece los máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Incluye los siguientes puntos :

1. **Objetivo y Campo de Aplicación.** Aplica a descargas hacia aguas y bienes nacionales, no incluye drenajes pluviales. La norma es obligatoria.
2. **Referencias.** Presenta una relación de las Normas Mexicanas NMX para efectuar muestreos y determinación de los diferentes contaminantes.
3. **Definiciones.** Establece el significado de términos como aguas costeras, aguas residuales, condiciones particulares de descarga, contaminantes básicos, embalses, muestra compuesta, promedio mensual, suelo, etc.
4. **Especificaciones.** Indica lineamientos generales sobre los máximos a cumplirse tanto para contaminantes básicos, como para metales pesados y cianuros. También incluye las fechas de cumplimiento y para presentar programas de acciones, para descargas municipales y no municipales. Establece la frecuencia de muestreo y análisis.
5. **Métodos de prueba.** Fija los establecidos en el punto de referencia.
6. **Verificación.** Designa a la CNA como la autoridad en este renglón.

7. **Grado de Concordancia con Normas y Recomendaciones Internacionales.** Establece que no hay normas equivalentes en otros países.
8. **Bibliografía.** Da una lista de libros y otras referencias recomendables para su aplicación al tratamiento de efluentes.
9. **Observancia de esta Norma.** Establece que la vigilancia del cumplimiento de la norma es la SEMARNAP, por conducto de la CNA y la Secretaría de Marina. Las violaciones se sancionan en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y otros ordenamientos jurídicos aplicables. Abroga las NOM de 1993, las cuales eran una repetición de las normas de 1988 por industrias, pero elevadas al grado de Norma Oficial.
10. **Transitorio.** Asigna tareas a los responsables de las descargas.
11. **Anexo 1.** Describe la técnica para determinar y cuantificar huevos de helminto.

Como puede desprenderse de lo visto anteriormente, todo estudio, proyecto o actividad que tenga que ver con aguas residuales debe tener como punto de partida, la observancia de la norma NOM-001-ECOL-1996.

2.2.2 LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE CONDENSADOS

Una refinería es un consumidor de vapor de distintas calidades, de manera que el vapor de alta presión que se genera en las casas de fuerza se degrada en los turbogeneradores y luego a vapor de media y vapor de baja presión en las plantas de proceso, al ser utilizado como vapor motriz o como fluido de calentamiento en los cambiadores de calor de proceso.

En una instalación real se tiene una gran cantidad de vapor de baja presión que ya no es utilizable como medio de calentamiento o como vapor motriz, debido a que no siempre se cuenta con una integración térmica que nos permita hacer una optimización del balance de vapor en la planta; entonces se hace necesaria la existencia de sistemas en los que el vapor se condensa y se recupera. Puede haber condensados recuperados tanto de media presión como de baja. Todos estos condensados se recuperan en buena parte aunque algunos de ellos se envían incorrectamente al drenaje.

Los proyectos enfocados al mejoramiento de los sistemas de recuperación de condensados consisten en aumentar la recuperación de ser posible hasta colectar la totalidad de los mismos ya que es agua casi libre de contaminantes y que puede reutilizarse. Lo anterior, es compatible con los proyectos de uso integral del agua, los cuales están enfocados al tratamiento de efluentes aceitosos, químicos, purgas de calderas, purgas de torres de enfriamiento, aguas de enjuague y retrolavado de filtros para reutilizar el agua en forma extensiva en el sitio de trabajo. Los condensados representan un porcentaje pequeño con respecto a la totalidad de los efluentes acuosos de una refinería y normalmente se consideran como un efluente poco atractivo de recuperar debido a que la recuperación y el tratamiento implican una inversión adicional y un análisis superficial no muestra el beneficio/costo que puede obtenerse. Este aspecto que se ha señalado es únicamente el económico y debe de efectuarse el estudio de factibilidad que fundamente adecuadamente la autorización de este tipo de proyectos.

Desde el punto de vista ecológico, la recuperación y tratamiento de condensados disminuye el flujo volumétrico de efluente acuoso de la refinería, lo cual es importante ya que en los proyectos de uso integral del agua no está considerada esta contribución. Los condensados tienen un contenido pequeño de contaminantes, por lo

cual no afectarían grandemente al tratamiento en cuanto a eliminación de éstos, sin embargo, contaminantes por ejemplo como el ión Fe^{3+} puede perjudicar el funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa, que es una de las etapas de la plantas de uso integral del agua, aplicada para desmineralización del agua.

El condensado recuperado se puede someter a un tratamiento relativamente sencillo que permitiría recircular el agua como alimentación a calderas de alta presión, en lugar de contribuir al volumen de aguas residuales de las refinerías, lo cual implica un beneficio ecológico, si bien el aspecto económico tiene que analizarse con más detalle.

CAPÍTULO 3. GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTO DE CONDENSADOS

3. GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTO DE CONDENSADOS

En nuestro país existen seis refinerías localizadas en: Minatitlán, Tula, Cd. Madero, Salina Cruz, Salamanca y Cadereyta. Estas refinerías cuentan con plantas entre las cuales se encuentran: Destilación atmosférica, planta de vacío, Hidrodesulfuradoras de naftas, hidrodesulfuradoras de destilados intermedios

Las diferentes plantas que constituyen una refinería de petróleo cuentan con un número significativo de servicios que consumen vapor de media y de baja presión, el cual se retorna finalmente como condensado de media y de baja respectivamente.

Una planta de tratamiento de condensados debe tener la flexibilidad para procesar el condensado limpio proveniente de las turbinas localizadas en las áreas de fuerza y el condensado aceitoso, denominado así por su contenido de hidrocarburos proveniente de los cambiadores de calor de las plantas de proceso. Además, no sólo se deben considerar las plantas actuales sino también las futuras y por otro lado, debe tener capacidad para darle tratamiento a los condensados de media presión proveniente de plantas tales como las combinadas o las catalíticas, el cual se considera también como condensado aceitoso.

En el balance de agua deben considerarse las plantas futuras en virtud de que en la actualidad están en desarrollo los proyectos de reconfiguración de las refinerías, los cuales incluyen una diversidad de plantas nuevas, por ejemplo en la refinería de Cadereyta, en la cual la reconfiguración ya está en construcción se deben contemplar plantas tales como: Alquilación, FCC No. 2, Azufre No. 2, Reductora de Viscosidad, MTBE e Isomerizadora de Pentanos y Hexanos.

Los condensados de media y de baja, llegan a la planta a presión por encima de la atmosférica y temperatura superior a la ambiente,

por lo que el tratamiento debe contar con el equipo de proceso necesario para el acondicionamiento del condensado a las condiciones adecuadas para el tipo de tratamiento seleccionado y para el almacenamiento del condensado de llegada a la planta de tratamiento ya que se requiere de una capacidad de almacenamiento porque existen fluctuaciones en el flujo y composición del condensado que se recibe.

En las refinerías se cuenta ya con algún tipo de tratamiento de condensados, que al paso del tiempo, ni es de la eficiencia de remoción de contaminantes deseada, ni de la capacidad requerida. Por ejemplo, en la refinería de Cadereyta se cuenta con un tratamiento a base de suavifiltros y flocfiltros totalmente obsoletos. Sin embargo, el hecho de que haya una planta existente conduce a considerar la posible reutilización de algunos equipos.

Para la eliminación de los contaminantes presentes en el condensado aceitoso, se cuenta con diferentes alternativas de procesamiento. El contenido de aceite es relativamente bajo en estos condensados fluctuando de 5 a 15 ppm, por lo cual no es posible aplicar los tratamientos típicos para separación de aceite de efluentes de refinerías como pueden ser los equipos separadores API o los separadores de Placas Corrugadas, sobre todo no se pueden aplicar porque el tamaño de partícula del aceite es pequeño y ese factor propicia la formación de emulsiones indeseables. El equipo que mejor se recomienda para este servicio son los Filtros Coalescedores, los cuales cuentan con mallas que se especifican para el contenido de aceite y con aberturas de menores a 5 micrones para retener en su superficie las partículas de aceite que tienden a crecer aumentando la velocidad de sedimentación por Ley de Stokes, favoreciendo la separación por flotación.

Se aplican también algunos tratamientos típicos para la eliminación de aniones y cationes como son resinas de intercambio iónico, electrodiálisis y ósmosis inversa.

Como el contenido de aceite es bajo es posible considerar el uso de algún agente floculante que no se hidrolice, por lo que no se sugiere el uso de sulfato de aluminio u otro agente similar. Para esta aplicación se utiliza un polielectrolito.

La capacidad normal de la planta se fija en función de los flujos normales esperados de las áreas de fuerza y proceso de acuerdo a datos de operación de las plantas existentes. En el caso de las plantas futuras se hace el estimado de acuerdo a la información de diseño de las mismas. De acuerdo a las fluctuaciones del condensado proveniente de las plantas existentes se puede fijar la capacidad máxima y mínima de la planta con un grado de confiabilidad suficiente.

En cuanto al contenido de contaminantes esperada de los condensados a tratar se puede considerar como típico lo mostrado en la siguiente tabla:

TABLA 3.1 COMPOSICIÓN TÍPICA DE CONDENSADOS LIMPIOS Y ACEITOSOS DE REFINERÍA

COMPONENTE	CONDENSADO ACEITOSO (ppm)	CONDENSADO LIMPIO (ppm)
Fe	2.0	---
Cu	0.01-0.2 máx.	0.01-0.05
Na	5.0	1.0
CO ₂	---	---
SiO ₂	0.01-0.2	0.01-0.2
Cl	---	---
SO ₄	---	---
Aceite	5-15	---
pH	8.2-9.2	8.2-9.2
Conductividad, (µmhos/cm)	7	24

En cuanto a la calidad de condensado que se espera después del tratamiento para poder reutilizarlo en atemperación y generación de vapor, se debe considerar la Tabla 3.2.

En cuanto a la eliminación de desechos la planta contará con drenajes necesarios para el manejo de los efluentes aceitosos del retrolavado y enjuague de filtros, así como de los efluentes químicos de los retrolavados y enjuagues de los equipos que lo requieran. Lo anterior como parte de las consideraciones ecológicas que deben hacerse en este tipo de proyectos y lo cual se ilustra a manera de sugerencia en la tabla 3.3, considerando del uso de intercambio iónico.

**TABLA 3.2 MÁXIMOS PERMISIBLES DEL
CONDENSADO TRATADO**

COMPONENTE	Especificación máx. (ppm)
Fe	0.020
Cu	0.003
Dureza total (como CaCO ₃)	0.000
SiO ₂	0.020
Alcalinidad total (como CaCO ₃)	—
Conductividad (µmhos/cm)	0.200
pH (unidades de pH)	7.0
Aceite libre	0.500

**TABLA 3.3 MANEJO DE LOS EFLUENTES DE UNA PLANTA DE
CONDENSADOS**

EFLUENTE	SE ENVÍA A	FRECUENCIA DE EMISION	SE INCLUYE EL TRATAMIENTO	FLUJO (LPM)	TIPO DE EFLUENTE
Retrolavados y Enjuagues de las Unidades de Intercambio Iónico	Fosas Existentes en Área de UDA'S	Por Proveedor	Sólo conducción por tubería hacia las Fosas	Por Proveedor	Ácido o Básico
Retrolavado y Enjuagues de Filtros Coalescedores	Drenaje Aceitoso de la Refinería	Esporádico	Sólo conducción hasta el Drenaje Aceitoso de la Refinería	Por Proveedor	Aceitoso

En el siguiente capítulo se exponen los procesos existentes que pueden aplicar al tratamiento de condensados y se hace una selección preliminar de tecnología a manera de ejemplo.

CAPÍTULO 4. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

4. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

El ingeniero químico en todas las fases de su formación y desarrollo enfrenta problemas en los cuales tiene que buscar el correcto planteamiento de alternativas de solución y de suyo, encontrar la mejor alternativa desde los puntos de vista técnico y económico. En cuanto a los problemas relacionados con tratamiento de agua, ya sea proveniente de alguna fuente natural o de agua de generada en la industria, que pretenda reusarse o tratarse para cumplir con la normatividad; siempre tiene que tomarse en cuenta los siguientes aspectos.

- ◆ Cantidad del agua a tratar
- ◆ Caracterización del agua a tratar
- ◆ Cantidad del agua tratada
- ◆ Caracterización del agua tratada
- ◆ Condiciones de recibo y entrega
- ◆ Normatividad ecológica vigente para efluentes y residuos
- ◆ Tecnología disponible

En Estados Unidos, aproximadamente el 40 % de la población consume agua que ha sido usada por lo menos una vez, con propósitos domésticos e industriales. La industria se considera un consumidor de agua de fuentes naturales, pero en realidad consume relativamente poca, ya que el reuso del agua ha venido creciendo. En muchos casos el agua residual tratada es de mejor calidad que el agua obtenida de las posibles fuentes naturales en una localidad determinada. Aproximadamente el 80 % de el agua que se consume en la industria es usada para enfriamiento, lo que ha causado un incremento gradual en el uso de enfriamiento con aire con el consecuente aumento en el consumo de energía eléctrica. La energía se aprovecha más eficientemente cuando se enfría mediante el uso de torres de enfriamiento, lo cual implica que hay una búsqueda de agua de bajo precio para hacer los procesos competitivos.

El reuso del agua, por otro lado, reduce la contaminación química, térmica y biológica y en general ayuda a la eficiencia global de las plantas de proceso.

Debido a que la calidad del agua de alimentación a las calderas es de alta pureza y a que ésta proviene normalmente de los equipos de intercambio iónico de las unidades de Desmineralización, se ha puesto especial atención al complemento de carga de las calderas como lo es el condensado. Bajo esta circunstancia se ha observado que este último es una de las principales fuentes de contaminación del agua que se alimenta a las calderas de alta y media presión. Es sabido que un agua de alta pureza se caracteriza por ser fuertemente agresiva, provocando corrosión en las tuberías, calderas y turbinas, sumando a los mismos condensados el producto de este fenómeno fisicoquímico.

De esta manera, normalmente los condensados contienen de 0.02 a 0.5 ppm de sólidos disueltos, incluyendo la sílice que estaba presente en el vapor, con una cantidad equivalente de insolubles constituidos principalmente por óxidos metálicos.

Bajo este contexto, cuando se genera vapor de alta presión se hace necesaria la remoción prácticamente completa de todas las impurezas (iones metálicos, sílice, sólidos disueltos, etc.), lo que puede efectuarse por diversos procesos de tratamiento como la ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis y diálisis

A continuación se describen brevemente las características de los procesos de tratamiento mencionados anteriormente:

4.1 INTERCAMBIO IÓNICO.

En 1852, Way descubrió que la remoción de amoníaco de líquidos acuosos a través del empleo de suelos era realmente un intercambio con el calcio de un tipo particular de silicato. El estímulo real para las resinas de intercambio ocurrió cuando Adams y

Holmes publicaron su artículo sobre resinas sintéticas orgánicas para intercambio aniónico. Ahora, el intercambio iónico ha venido a ser un proceso de conversión química muy importante. Su utilización en la industria es muy amplia, incluyendo la producción comercial de agua desmineralizada de baja conductividad eléctrica.

El intercambio iónico es realmente una reacción química en la cual los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados, equivalente por equivalente por iones en solución. El sólido tiene una estructura abierta y los iones móviles están eléctricamente cargados o potencialmente cargados, los grupos adjuntos a la matriz sólida, se llama intercambiador de iones. El intercambio catiónico ocurre cuando los grupos fijos cargados (grupos funcionales) del intercambiador son negativos; el intercambio aniónico ocurre cuando los grupos funcionales inmovilizados son positivos.

Los primeros productos usados industrialmente para intercambio iónico fueron las zeolitas como la arena verde, la cual posee una baja capacidad de intercambio por metro cúbico. La siguiente mejora fue la introducción de intercambiadores orgánicos obtenidos mediante la sulfonación de carbón, lignita y alquitrán. Después, se desarrollaron resinas de más alta capacidad a base de poliestireno-divinilbenceno (SDVB).

El intercambio de catión-sodio es el más empleado para la suavización del agua. Durante el proceso de suavización, los iones de calcio y magnesio son eliminados del agua dura cambiándose por iones sodio. Cuando casi toda la resina ha pasado a compuestos de calcio y magnesio, se regenera para restablecer la resina sódica con solución salina en un rango de pH entre 6 y 8. La regeneración es con sal común con una eficiencia que varía de 0.3 a 0.5 lb de sal por cada 1000 g de dureza removida. Los intercambiadores de ciclo hidrógeno son usualmente de (SDVB) sulfonado. Esta resina es excepcionalmente estable a altas temperaturas y pH, también es resistente a condiciones oxidantes.

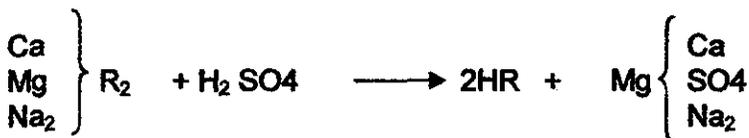
Para el caso que nos atañe de obtener agua para alimentación de calderas de alta presión se aplica el proceso de intercambio catión-hidrógeno, en el cual la resina contiene un ion hidrógeno intercambiable y puede emplearse para remover todos los cationes. El símbolo R representa el radical complejo en las siguientes reacciones de intercambio por bicarbonatos.



O como puede verse, la reacción de intercambio por sulfatos y cloruros:



La regeneración de estas resinas se hace con ácido sulfúrico, como el método más usual y económico.



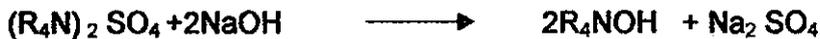
El agua ácida no es deseable para la mayoría de los propósitos, por consiguiente, el agua obtenida, cuando la desmineralización es requerida se pasa a través de un material de intercambio aniónico.

Intercambiadores aniónicos hay de dos tipos, los fuertes y los débiles. Ambos tipos remueven ácidos altamente ionizados, tales como sulfúrico, clorhídrico o nítrico, pero solo los intercambiadores

aniónico fuertes pueden remover los ácidos ligeramente ionizados, tales como el carbónico o el silícico.



La regeneración es:



Los cambiadores aniónicos fuertes se regeneran con sosa cáustica, los débiles pueden regenerarse con sosa con soda ash o con hidróxido de amonio.

La desmineralización con resinas es ampliamente usada para el acondicionamiento de agua para calderas de alta presión. Los sistemas de intercambio ionico varían de acuerdo con los volúmenes y las composiciones del agua cruda, los requerimientos de calidad de los efluentes y los costos comparativos de capital y de operación.

Brevemente, si la remoción de silicio no se requiere, el sistema puede consistir de un intercambiador cation-hidrógeno y una unidad anionica débil, usualmente seguida de un desgasificador para remover por aereación el dióxido de carbono formado a partir de los bicarbonatos en la siguiente etapa. Cuando se requiere la remoción de silicio, las unidades de intercambio catiónico y aniónico son fuertes, usualmente con un desgasificador entre las unidades. Para aplicaciones donde se requiere agua de alta pureza, el arreglo anterior puede ser complementado con un pulido secundario consistente de un sólo equipo conteniendo ambos tipos de resinas.

De acuerdo a lo anterior, un arreglo unidad de intercambio catiónico hidrógeno (H), unidad aniónica fuertemente básica (SB) y lecho mixto se hace atractiva por su fuerte reducción de sílice (0.05 a 0.01 ppm), además de que con el lecho mixto se da una protección adicional para garantizar niveles más bajos de los contaminantes.

4.2 OSMOSIS INVERSA.

El proceso normal de la ósmosis consiste en el transporte espontáneo de un disolvente desde una disolución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable ideal, que impide el paso del soluto pero deja pasar el disolvente. Este flujo de disolvente es reducido al aplicarse una presión al lado de la membrana. Así, para una presión llamada presión osmótica se alcanza el equilibrio y la cantidad de disolvente que pasa en ambas direcciones es la misma. Si la membrana es idealmente semipermeable, la presión osmótica debe ser considerada como una medida de cierta diferencia real, que se traduce como presión, que existe entre la naturaleza de la solución y el disolvente puro.

Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección del flujo se invierte. Entonces el disolvente puro pasa desde la solución hacia el solvente. Este fenómeno constituye la base de la ósmosis inversa aplicada en el tratamiento del agua cruda y agua residual. La energía útil por unidad de volumen suministrada a este proceso lo es en forma de presión que es superior a la presión osmótica de equilibrio.

La ósmosis inversa es el fenómeno mediante el cual es posible que un sólido disuelto en una solución pueda pasar a través de una membrana semipermeable, mientras que otros sólidos disueltos no pueden pasar.

El diseño de una planta de ósmosis inversa que resulte económico y eficiente debe contemplar los siguientes aspectos, los cuales, a su vez, representarán cuidados en su mantenimiento:

Una de las aplicaciones comunes de la ósmosis inversa es como pretratamiento del agua para alimentación a calderas, agua de reposición a torres de enfriamiento y agua con dureza casi cero. Como pretratamiento para calderas se considera como punto límite

para un uso económico de la ósmosis inversa es un contenido de sólidos disueltos de cuando menos 300 ppm.

Hay que recordar que el origen de la ósmosis inversa fue el desalado de agua de mar por ejemplo, para las plataformas dada la ausencia de agua dulce. Normalmente, la ósmosis inversa no está indicada para realizar el pulido de agua, es decir para llegar a un bajo contenido de sólidos para entrar a calderas de alta presión, ya que no se lograría el objetivo. Esta es una de las razones poderosas por las que no se aplica al tratamiento de condensado, ya que está fuera del rango de aplicación en cuanto a sales disueltas. Este proceso aplica para contenidos mayores de 300 ppm.

Por otro lado la ósmosis inversa incluye costos de pretratamiento, es decir para protección de las membranas normalmente deben incluirse sistemas para evitar precipitación de sales mediante inyección de ácido sulfúrico, también inyección de anti incrustantes, y sistema de dosificación de bisulfito de sodio para eliminar cloro residual. Además filtros cartucho, que es una microfiltración para evitar el paso de sólidos finos que disminuyan la vida de las membranas.

El consumo energético de este proceso es relativamente alto porque incluye bombas de alta presión. Para un contenido de sólidos bajo, se tendrían presiones de descarga de bombas de por lo menos 10 kg/cm², para un agua de mar presiones de descarga hasta de 70 kg/cm².

4.3 ULTRAFILTRACION.

Al igual que la ósmosis inversa la ultrafiltración por membrana depende de una fuerza impulsora (presión) y una membrana que es permeable a algunos de los componentes de una disolución líquida o mezcla e impermeable a otros. Los dos procesos difieren en que la ultrafiltración no está controlada por la presión osmótica y puede llevarse a cabo a diferencias de presiones bajas. La ultrafiltración se aplica generalmente para separar solutos que tienen un peso molecular superior a 500 y presiones osmóticas muy pequeñas a concentraciones moderadas. Esto incluye materiales como bacterias, virus, almidón, gomas, proteínas, arcillas y pigmentos de pintura. La ósmosis inversa se aplica a los materiales de peso molecular más bajos. El límite superior de peso molecular para la ultrafiltración se fija generalmente en 500,000. Por encima de este tamaño molecular la separación se lleva a cabo por la filtración microporosa convencional.

El mecanismo predominante en la ultrafiltración por membrana es el tamizado selectivo a través de los poros. El rechazo de una membrana para una sustancia determinada depende de su forma molecular, tamaño y flexibilidad así como un sustituto de los espesadores, clarificadores y floculadores. Por este proceso se puede separar del agua, arcillas, materia vegetal y microorganismos.

4.4 ELECTRODIÁLISIS.

En este proceso la corriente eléctrica induce la separación parcial de los componentes de una solución iónica. Esta separación puede llevarse a cabo colocando alternativamente membranas selectivas catiónicas y aniónicas al paso de la corriente. Cuando se aplica la corriente, los cationes son atraídos eléctricamente y pasan a través de la membrana de intercambio catiónico en una dirección, y los aniones cruzan a través de la membrana de intercambio aniónico en

la otra dirección. Como resultado neto, se obtienen compartimientos alternados de elevada y de baja concentración de sales a través de todo el paquete de membranas hasta obtener la reducción de contaminantes deseada.

Una nueva membrana de electrodiálisis debe ser capaz de discriminar entre iones de carga opuesta debe tener un número de transporte de agua bajo una conductividad eléctrica buena. También debe tener una buena resistencia mecánica y estabilidad dimensional. La propiedad más importante de la membrana es su permeaselectividad. La permeaselectividad es la capacidad que tiene la membrana para dejar pasar o discriminar un ión según su carga.

La desalinización del agua salobre constituye la aplicación principal del proceso. Las industrias de alimentación y bebidas representan otra área activa de aplicación de la electrodiálisis. Se utiliza para desalinizar el suero de la leche, endulzar los jugos cítricos y aguas residuales de industrias conservadoras de pescado. En la industria química, la electrodiálisis se ha utilizado para recuperar muchos compuestos químicos diluidos en los residuos.

4.5 ELECTRODESIONIZACIÓN

La Electrodeionización (EDI) es un proceso de membrana usado en la producción de agua ultrapura, que ha crecido rápidamente en los últimos años. En muchos casos, la EDI es el proceso que se selecciona, por sobre los procesos convencionales tipo batch de intercambio iónico. Hay algunas razones obvias para esto, tales como el beneficio ambiental que se obtiene por el hecho de no necesitar químicos para su regeneración y la inherente superioridad de un proceso continuo sobre un proceso batch. Hay también el beneficio de la obtención de un agua producto de alta calidad, especialmente comparada con otros procesos de membrana.

Finalmente, hay beneficios económicos que hacen la EDI un proceso que poco a poco va penetrando el mercado de tecnologías de tratamiento de agua. Se ha demostrado que la EDI tiene la capacidad de remover especies débilmente ionizadas, aspecto que la diferencia de otros procesos de desmineralización. Normalmente, la especies débilmente ionizadas, tales como el dióxido de carbono, boro y amoniaco son difíciles de remover mediante procesos de membrana tales como la ósmosis inversa (OI) y la electrodiálisis inversa (EDR).

La clave de una OI es su capacidad para remover sílice, el comportamiento de un intercambio ionico es su facilidad de remover especies débilmente ionizadas. La EDI ofrece el beneficio de remover continuamente todas estas especies con alta eficiencia. La EDI combina las resinas de intercambio ionico, las membranas de intercambio iónico y un campo eléctrico de corriente continua. Las especies ionizadas son removidas como en la electrodiálisis convencional con una velocidad de remoción altamente incrementada por la presencia de las resinas de intercambio en la celda de dilución. Estas resinas de intercambio facilitan la transferencia de masa de las especies débilmente ionizadas principalmente debidas al fenómeno conocido como "water splitting". En la celda de dilución, el campo de corriente directa divide el agua en la superficie de las membranas de intercambio, produciendo iones hidrógeno y iones hidroxilo, los cuales actuan como regenerantes continuos de las resinas de intercambio. Esto permite que una porción de las resinas siempre se encuentre en un estado totalmente regenerado, dando la capacidad de remover las especies parcialmente ionizadas.

Una vez ionizadas, estas especies son fácilmente eliminadas bajo la influencia del campo eléctrico. La remoción de especies ionizadas tales como sodio, cloruro, sulfato y calcio es usualmente del 99 % en la EDI. La remoción de especies parcialmente ionizadas es una área que todavía se está perfeccionando, pero se tienen reportes de que se logra una alta remoción. Ya hay varias

plantas en el mundo operando con este proceso, pero todavía no se tiene una certeza absoluta sobre su comportamiento y sus problemas operacionales.

En todo caso, se aplica la EDI como una etapa final antes de alimentar a calderas con pretratamientos previos, para que no dependa de la variabilidad del agua cruda, ya que es muy sensible a los cambios de calidad del agua de entrada en parámetros tales como la temperatura, pH, sólidos totales disueltos, compuestos orgánicos y sólidos suspendidos. Los pretratamientos se aplican para abatir estas variaciones. Los costos de inversión de este proceso son altos comparativamente con la OI y con el intercambio iónico pero sus costos de operación son bajos en función del no uso de regenerantes y bajo mantenimiento.

CUADRO COMPARATIVO DE LOS PROCESOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE CONDENSADOS DE VAPOR DE AGUA.

PROCESO	PRINCIPIO DE OPERACIÓN	RANGO DE APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COSTO RELATIVO
Intercambio iónico	Remoción de los iones indeseables por sustitución.	Amplio	Amplia variedad de medios de intercambio. Operación relativamente sencilla. Usa agentes químicos comunes. Proceso de separación gobernado por el equilibrio.	El agua alimentada debe tener contenido relativamente bajo de STD (hasta 10000 ppm)	Medio
Ósmosis inversa	Vencer la presión osmótica para que exista una transferencia de masa en sentido inverso al que dicta el potencial químico a través de una membrana semi-permeable.	Purificación de aguas salobres	Altos grados de pureza.	Requiere tratamientos previos a su aplicación. Altas diferencias de presión. Procesos de separación gobernados por la velocidad de transporte de masa.	Alto
Ultrafiltración	La aplicación de una fuerza impulsora (presión) que hace que determinadas especies de una solución se transfieran a otra fase líquida.	Como sustituto de espesadores, clarificadores y floculadores en tratamientos de agua residual. Para la remoción de macromoléculas.	Bajas diferencias de presión respecto a la ósmosis In-versa. No se tiene la limitante de la ósmosis inversa.	No se llega a una remoción iónica efectiva. Proceso de separación gobernado por la velocidad de transporte de masa.	Alto
Electrodiálisis	Una corriente eléctrica induce la separación parcial de los componentes de una solución iónica.	Restringido en el tratamiento de salmueras y de agua de mar. En la industria alimentaria y de bebidas.	Recuperación de compuestos químicos valiosos disueltos en residuos.	Dificultad en la selección de las membranas. Tratamiento previo a la alimentación. Proceso de separación gobernado por la velocidad de transporte de masa.	Alto

4.6 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

En los párrafos anteriores se ha dado una breve descripción de las tecnologías existentes de tratamiento de agua para su desmineralización y uso en la generación de vapor mediante calderas de alta presión.

Debido a que el condensado recuperado, en las plantas de Proceso y de Fuerza, forma parte del agua de alimentación a calderas es necesario tratar dicho condensado para eliminar los óxidos metálicos, iones metálicos, sílice y aceite, con la finalidad de reutilizarlo.

Como el condensado es generado en diferentes fuentes, (turbinas, cambiadores de calor, serpentines, trampas de vapor, etc.), se tienen dos tipos de condensados: aceitoso y limpio.

El condensado aceitoso inicialmente deberá ser tratado para eliminarle el hidrocarburo, previo a su tratamiento de desmineralización. Para la eliminación del aceite es práctica común utilizar el proceso de filtración con medios granulares diversos (antracita, lechos coalescentes, etc.). Asimismo, previo a la etapa de filtración es necesario incorporar agentes coagulantes y ayudas coagulantes que no se hidrolizan, con la finalidad de facilitar la remoción de sólidos suspendidos y la materia orgánica diversa en el lecho filtrante.

Dentro de los procesos para la eliminación de sólidos totales disueltos (STD) en el agua, se tiene que el intercambio iónico es principalmente usado para la remoción de dureza y desmineralización de agua entendiendo por desmineralización la reducción de sólidos disueltos, teniendo como fuente agua de relativamente bajo contenido de STD.

El uso principal de la ósmosis inversa es la purificación de agua salobre y salada (hasta 10,000 y 35,000 ppm de STD respectivamente).

Una aplicación muy indicada de esta tecnología constituye el pretratamiento para desionización por intercambio iónico, con el fin de obtener agua de alta pureza. Esta combinación es económicamente atractiva ya que reduce significativamente los costos de operación por concepto de reducción de agentes químicos, además de que presenta varias ventajas técnicas. Sin embargo, para un contenido de STD tan bajo como el presente en nuestros condensados de refinería queda fuera del rango de aplicación.

Respecto a la electrodiálisis, también es comúnmente usada en el tratamiento de salmueras y agua de mar, es decir, sustancias con alto contenido de STD. La industria de alimentos y de producción de bebidas son áreas atractivas de aplicación de esta tecnología. Y también queda fuera del rango de aplicación para aplicarse a los condensados recuperados.

En cuanto a la ultrafiltración, esta es aplicada a la industria farmacéutica y alimenticia, esto debido a que su grado de permeabilidad es recomendable, para la remoción de macromoléculas, como se explicó anteriormente, sin llegar a una remoción de iones efectiva. Por otro lado, la ultrafiltración es una tecnología de alto costo de inversión y no eliminaría los contaminantes que se pretende quitar.

La ultrafiltración se ha empleado en el tratamiento del agua residual como un complemento de los espesadores, clarificadores y floculadores. Esta tecnología también permite separar del agua, arcillas, materia vegetal y microorganismos.

En cuanto a la electrodeionización, se considera que es una tecnología sumamente competitiva para la aplicación a los

condensados recuperados, ya que se trata de un proceso de alta eficiencia de remoción de iones hasta llevarlos a niveles que permiten la alimentación a calderas de alta presión. No consume químicos ni requiere tratamiento adicional de efluentes. Sin embargo, esta tecnología no está completamente probada y sobre todo para operar con variaciones de temperatura a temperaturas relativamente altas de hasta 50 °C que se presentan en los condensados recuperados.

Es cuestión de que al paso del tiempo esta tecnología se reafirme para operar en condiciones de alta temperatura y variabilidad para que pueda aplicarse en forma confiable al caso de estudio. Por otro lado, esta tecnología es de alto costo de inversión y no es recomendable para tratar los altos flujos que se manejan en una refinería.

En cuanto a la desmineralización con resinas, estas han demostrado al paso de los años ser una tecnología suficientemente probada y madura. Apenas últimamente ha sido desplazada por la ósmosis inversa al disminuir el costo de las membranas pero solo en aplicaciones con contenido de sólidos disueltos mayores a 300 ppm.

En esta opción de intercambio iónico se encuentran resinas de muy alta resistencia mecánica y que operan en un amplio rango de condiciones de presión y temperatura. Las resinas presentan el problema de requerir el uso de sosa y ácido sulfúrico para su regeneración, lo cual implica un costo operativo importante, tanto por consumo de químicos como por neutralización de efluentes, aunque en la planta de condensados se espera que debido al bajo contenido de sólidos disueltos, la frecuencia de regeneración con estos químicos será muy baja y por consiguiente también la producción de efluentes. Con respecto a la EDI, el costo de inversión es relativamente bajo y hay una gran disponibilidad en el mercado de este tipo de plantas.

Debido a que en las refinerías se requiere tratar los condensados generados, los cuales presentan concentraciones máximas de **20 ppm de STD**, y de acuerdo a los procesos tratados anteriormente, consideramos que el proceso de tratamiento a usar deberá estar constituido de las siguientes etapas:

- Eliminación de aceite mediante filtros coalescedores
- Intercambio iónico: catión-anión-lecho mixto

4.7 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

En la siguiente tabla se muestra una selección preliminar de alternativas:

SECCIÓN	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
CONCEPT	INTERCAMBIO IÓNICO	ÓSMOSIS INVERSA	ULTRAFILTRACIÓN	ELECTRODIÁLISIS	ELECTRODEIONIZACIÓN
INVERSIÓN INICIAL	5	4	3	3	3
MANTENIMIENTO	4	3	2	2	5
CONSUMO DE QUÍMICOS	3	4	4	4	5
CONSUMO DE POTENCIA	3	3	4	4	5
RANGO DE OPERACIÓN	5	1	1	1	4
PRETRATAMIENTO O REQUERIDO	4	3	3	3	3
TRATAMIENTO DE EFLUENTES	3	4	4	4	5
GENERACIÓN DE LODOS	5	4	4	4	5
TECNOLOGÍA PROBADA	5	4	3	3	2
RANGO DE TEMPERATURA	5	4	3	3	3
CALIDAD DEL AGUA DE SALIDA	5	3	3	3	5
VARIACIÓN EN COMPOSICIÓN	5	4	3	3	3
TOTAL	52	41	37	37	48

Para este análisis de alternativa se utilizó una escala. El número cinco se ha asignado a la mejor opción y el número 1 a la peor. Las posiciones intermedias se indican por medio de los números restantes.

De acuerdo a esta selección de alternativas, se concluye que la opción de Intercambio Iónico para la aplicación requerida de tratamiento de efluentes recuperados en la refinería. Esta tecnología a pesar de los altos consumos de químico y la necesidad de neutralizar sus efluentes, ha demostrado ser una tecnología altamente probada y que en la actualidad cubre un rango de operación muy alto. Los costos de inversión de esta tecnología son bajos y los costos de operación también se consideran bajos en virtud de que se espera tener un régimen moderado de regeneración y enjuague de las resinas.

Los altos costos de inversión del proceso de Electrodeionización y el hecho de no ser una tecnología lo suficientemente probada hacen también esta opción poco atractiva.

Esto ha quedado demostrado por las cotizaciones que se han obtenido de varios, con base en las cuales se concluye que la inversión inicial es por lo menos el doble que para el proceso de Intercambio Iónico. Por otro lado, se trata de una tecnología delicada en la que variaciones en la composición de entrada pueden alterar el comportamiento de las membranas y las resinas con las que cuenta el equipo, haciendo altas las necesidades de sustitución de membranas y labores de mantenimiento.

La tecnología de ósmosis inversa y la de ultrafiltración se descartan principalmente por estar fuera del rango de aplicación de tratamiento de acuerdo con la composición

esperada en el efluente a tratar.

La tecnología de electrodiálisis está fuera de rango y tiene un alto costo de inversión y mantenimiento, lo cual hace que su calificación sea baja y quede descartada.

En virtud de la evaluación anterior la tecnología seleccionada es la de Intercambio Iónico, que servirá de base para las secciones siguientes del presente trabajo.

CAPITULO 5.

ANÁLISIS DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE CONDENSADOS DE LA REFINERÍA DE CADEREYTA

CAPITULO 5.

5.1 MARCO ACTUAL DE DESARROLLO DEL PROYECTO

En la década de los ochenta se presentó un gran dinamismo tecnológico para lograr el tratamiento efectivo de los efluentes líquidos y gaseosos en las plantas de proceso químico, gracias en parte a que la legislación ambiental fue convirtiéndose poco a poco más estricta en cuanto a los niveles permisibles en las descargas a la atmósfera y a los cuerpos naturales de agua.

De esta manera, la tecnología de tratamiento de estas descargas fue evolucionando de manera tal que poco a poco fue tendiendo al concepto de la llamada "Descarga Cero". Este enfoque consiste en el desarrollo de tecnologías de tratamiento terminal, también llamadas de "End of Pipe", en las que la preocupación principal es hacer el tratamiento para lograr la recirculación de las corrientes tratadas para reutilizarlas de nuevo en alguna parte del proceso.

Aún en ausencia del concepto de desarrollo sustentable, durante la década de los noventa se presentó un creciente interés por las llamadas tecnologías en aras de satisfacer la preocupación por la protección del ambiente, es decir mantener el equilibrio de los ecosistemas.

Dada esta preocupación y el creciente interés de la población por solucionar el problema de la ecología, Pemex resolvió dar inicio a los trabajos de rescate de la cuenca hidrológica de Lerma-Chapala Santiago, para lo cual desarrolló el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de Salamanca, en la cual se daría tratamiento tanto al efluente de la Refinería proveniente del tratamiento primario de efluentes existente como también a gran parte de las aguas negras municipales de la ciudad de Salamanca. Así fue como por primera vez en la industria petrolera mexicana trataba de darse una solución integral al

problema del tratamiento de las aguas residuales, con el consiguiente beneficio tanto para la refinería como para la comunidad. El proyecto de construcción salió a concurso y finalmente a pesar de algunos problemas operacionales, sobre todo en la sección de tratamiento biológico, que no han permitido la operación 100 % eficiente de la planta, la planta es una realidad y continua su mejoramiento para conseguir los objetivos deseados.

Durante los años de 1992 y 1993 se tomo la resolución total de dar una solución integral al problema del agua en refinerías, por lo que se retomó el concepto de "Descarga Cero" y como producto de la ingeniería conceptual desarrollada se configuraron las bases de concurso para la Planta de Uso Integral del Agua en la Refinería de Cadereyta. Estas bases se emitieron en febrero de 1994. De esta manera, fue como se presentaron propuestas para el desarrollo del proyecto de ingeniería y construcción ya dentro del concepto de descarga cero y en la modalidad DCA (Diseñado, Construido y Adquirido), lo cual significa que la firma de ingeniería ganadora realiza la ingeniería y la construcción con recursos obtenidos por ella misma. La planta tiene la opción contractual para Pemex de poder ser adquirida después de doce años de operación de la misma. El proyecto fue asignado oficialmente en 1995. La Ingeniería Básica se desarrolló durante 1996 y la Ingeniería de Detalle durante 1997. También ya en este año se iniciaron los trabajos de preparación del terreno y la construcción. El arranque de la planta se dio durante el período de mayo a noviembre de 1998. En la actualidad, aún con algunos problemas operacionales en las secciones de tratamiento biológico como en la de ósmosis inversa, la planta ya es toda una realidad, sin que por esto se haya hecho una reflexión acerca de que si después del concepto de descarga cero, hay algo más. Sin embargo, el mismo concepto de descarga cero, que es lo mismo que uso integral del agua se está aplicando a las otras refinerías. De esta manera, se dio inicio a la ingeniería para una planta de uso integral en la refinería de ciudad Madero en abril de 1998, iniciándose los trabajos de construcción tempranamente. Actualmente, se esta terminando la construcción

para dar inicio a los trabajos de arranque de la planta. El mismo esquema se seguirá con las plantas de las refinerías de Minatitlán, Tula y Salina Cruz.

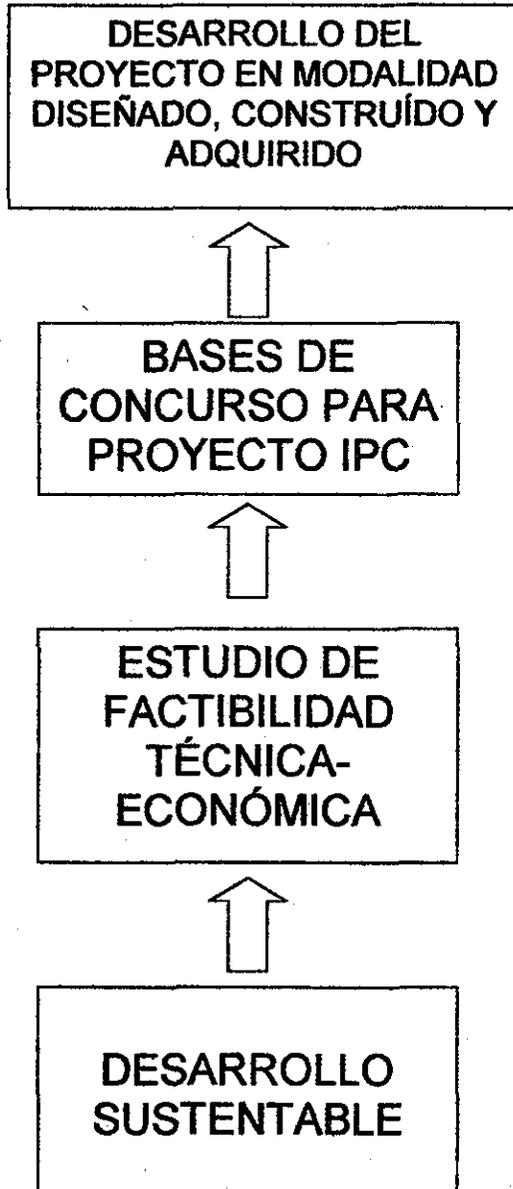
Después del concepto de descarga cero, ya en la década de los noventa uno un regreso al análisis de las plantas de proceso que componen las refinerías, ya que internamente, es posible lograr la disminución en las emisiones, sin el énfasis en el tratamiento terminal de las descargas. Esta situación ha conducido a volver la mirada tanto a los procesos como también a los condensados limpio y aceitoso.

En el caso de la Refinería de Cadereyta se tiene un tratamiento existente, el cual poco a poco ha venido a quedar obsoleto. Razón por la cual se planteó el proyecto de instalar una nueva planta de tratamiento de condensados que permita su reutilización. Pero, entonces la cuestión es que este tipo de proyectos queda fuera del concepto de descarga cero, porque se refiere al tratamiento de corrientes internas de la refinería y no precisamente debe tener relación con la planta de uso integral ya operando. Pero hay una ausencia de objetivo, razón por la cual es necesario implementar un concepto que dirija los esfuerzos hacia un objetivo. Este concepto es el de desarrollo sustentable. Ya que internamente el proyecto ha encontrado mucha oposición por parte de las autoridades porque no hay una visualización del porqué de la ejecución de un proyecto de este tipo. De esta manera, el proyecto ha caído en el caos en cuanto a su administración y ha pasado por etapas en las que primero se estableció que sólo se hiciera un estudio y se le quiso dejar hasta ahí. Luego se manejó que se efectuara como parte de los trabajos de integración de las plantas Ex Azcapotzalco, las cuales eran la Planta de Recuperación de Azufre No. 2, la Planta de Alquilación No. 2 y la Planta Catalítica No. 2. Después se quiso manejar como un proyecto complementario a los trabajos de instalación de plantas nuevas dentro del marco de reconfiguración de las refinerías, proyecto que actualmente contempla 19 plantas nuevas y que actualmente se encuentra en su fase de construcción.

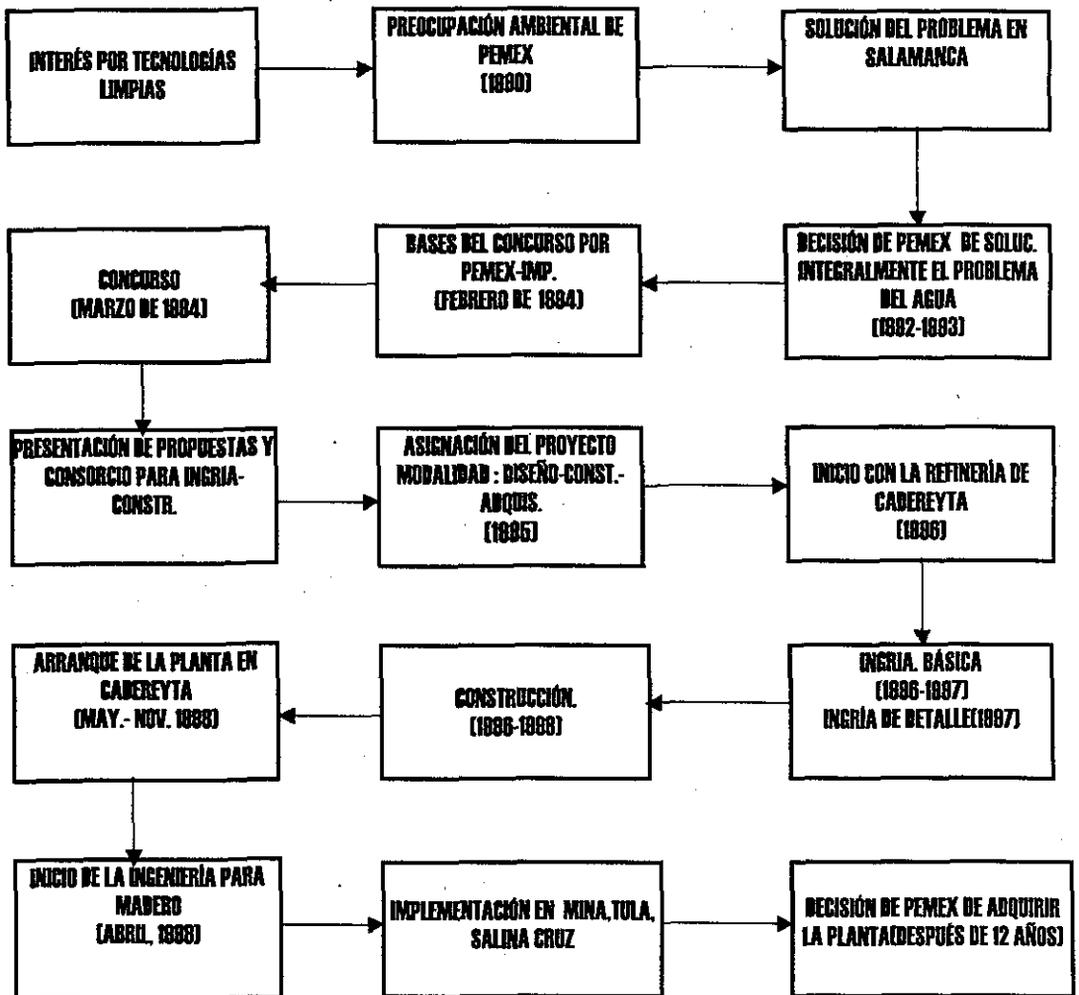
Posteriormente, se ha pensado enmarcar al proyecto de recuperación de condensados como un complemento a la planta de uso integral del agua.

Finalmente, todo este asunto se resume en que no se ha podido mostrar lo atractivo del proyecto. Desde los puntos de vista técnico y económico, no se tiene problema ya que el proyecto resulta atractivo. Pero en cuanto al manejo del proyecto hay una cuestión que es más de fondo y que es el concepto de desarrollo sustentable. De esta manera la administración de este tipo de proyectos debe manejar un esquema, el cual se propone precisamente en este trabajo de tesis.

FIGURA 5.1.1 ESQUEMA DE ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE CONDENSADOS EN REFINERÍAS



**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EVOLUCIÓN DEL
PROYECTO DE USO INTEGRAL DEL AGUA EN
REFINERÍAS.**



CAPITULO 5.

5.2 PREPARACIÓN DE LAS BASES DE CONCURSO

CAPITULO 5.

5.2 PREPARACIÓN DE LAS BASES DE CONCURSO

La correcta preparación de las bases de concurso para este tipo de proyectos de recuperación de condensados debe contemplar los tres aspectos cruciales del desarrollo sustentable: economía, ecología y energía. Asimismo, deberá tomar en cuenta el aspecto legal, relativo al cumplimiento de la normatividad vigente (la 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) así como los límites que se han establecido bajo las condiciones particulares de descarga.

En el aspecto social deberá clarificarse el beneficio social del proyecto, en virtud de que se dejan de consumir 161 l/s en la refinería dejando la oportunidad a las poblaciones cercanas de utilizar el agua de fuentes naturales para otros servicios útiles a la comunidad. También el beneficio a la conservación de los recursos naturales en virtud de la problemática de agua en el Estado de Nuevo León.

Para lograr esto, el cliente debe indicar en sus bases de concurso, la satisfacción de la normatividad ecológica; los requerimientos de cumplir con la selección de la mejor tecnología disponible y del análisis de opciones para lograr la ejecución del mejor proyecto desde un punto de vista técnico y económico, asimismo, debe puntualizarse el empleo de recirculación de fluidos e integración térmica cuando sea posible, logrando la optimización energética de la planta de tratamiento.

Todos estos puntos genéricos deberán quedar bien establecidos en la sección de antecedentes y generalidades de las bases de concurso.

5.2.1 ALCANCE DEL PROYECTO

Se considera que los trabajos solicitados deben tener como alcance: la elaboración de ingeniería básica, desarrollo de ingeniería de detalle, suministro de equipo y materiales, instalación, construcción, pruebas y arranque de la planta de tratamiento de condensados limpio y aceitoso. También deberá incluirse la demolición de las instalaciones de tratamiento existentes, actualmente obsoletas. Se propone considerar los siguientes alcances particulares

- a) Ingeniería básica de la planta de tratamiento de condensados y su integración con la refinería.
- b) Ingeniería de detalle.
- c) Compra, expeditación, e inspección de materiales y equipos.
- d) Revisión y aprobación de dibujos de fabricante de equipos.
- e) Planeación, programación y control de adquisiciones.
- f) Reportes de avance.
- g) Control de costos del proyecto.
- h) Seguros para la transportación terrestre.
- i) Construcción y erección.
- j) Inspección de campo y supervisión.
- k) Prueba, limpieza y pintura de equipo, tuberías, instrumentación.
- l) Pruebas previas al arranque.
- m) Puesta en marcha y pruebas de comportamiento.
- n) Capacitación del personal de operación.
- o) Suministro de partes de repuesto mínimas por dos años.
- p) Elaboración de planos as-built.
- q) Elaboración del Manual de Operación de la Planta.
- r) Elaboración e integración de los documentos finales en libros de proyecto.
- s) Integración de Catálogos y manuales de fabricante para equipos, válvulas, instrumentos y CCM.
- t) Supervisión en todas las etapas de desarrollo del proyecto.

5.2.2 REQUERIMIENTOS DE OBRA

El cual debe contener el alcance general y la división de responsabilidades del contratista, las bases de diseño, la filosofía básica de operación de la planta, los procedimientos de trabajo y las normas y reglamentos que deben cumplirse. Esta sección podrá contener los **anexos típicos** correspondientes, tales como relación de planos, especificaciones técnicas para el control del proyecto, especificaciones particulares, programas de ejecución, maquinaria, materiales y equipos a proporcionar por el cliente y por el contratista, análisis de precios unitarios, categorías de mano de obra y salarios reales, análisis financiero y relación de proyectos anteriores similares.

5.2.3 REQUERIMIENTOS PARA LAS COMPAÑÍAS PARTICIPANTES EN LA LICITACIÓN.

En licitaciones de este tipo, los trabajos normalmente se pueden asignar a las compañías que demuestren ser propietarias de tecnología de punta y que tengan experiencia comprobable en construcción de obras similares en monto y alcance a las del proyecto en cuestión.

Las compañías participantes en la licitación podrán formar consorcios o asociaciones, para lo cual deberán presentar contrato simple de asociación en participación, y en caso de resultar con asignación favorable, deberán protocolizarlo de acuerdo a las Leyes Mexicanas y ante Notario Público. En ambos casos demostrarán fehacientemente las obligaciones solidarias y mancomunadas para la participación y ejecución de los trabajos. Se permitirá la subcontratación de compañías para la ejecución de los trabajos especiales.

Las compañías licitantes deben demostrar que cuentan con un mínimo de capital contable que respalde la ejecución del proyecto, con sus estados financieros actualizados al ejercicio fiscal anterior.

También deberán presentar una relación de los contratos celebrados en los últimos tres años con la administración pública o particulares relativos a obras similares, manifestación de propiedad o renta de maquinaria, equipo y demás recursos que utilizarán en la obra; y garantizar el acceso de personal del cliente o sus representantes a sus instalaciones y documentación para efectos de verificación física de los recursos ofertados.

5.2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL CONTROL DEL PROYECTO

Las especificaciones para el control del proyecto quedan definidas normalmente en un anexo de las bases de concurso. En seguida se presenta a manera de ejemplo, el índice del anexo para una mejor comprensión del grado de detalle de este tipo de documento.

SECCIÓN 1: GENERALES

SECCIÓN 2: CONTROL DEL PROYECTO

SECCIÓN 3: RECURSOS Y EXPERIENCIA

SECCIÓN 4: ESTRUCTURA DE TRABAJO (WBS)

SECCIÓN 5: REDES DE ACTIVIDADES

SECCIÓN 6: CÉDULAS DE VALORES Y COSTOS

SECCIÓN 7: PROGRAMA DE OBRAS

SECCIÓN 8: AVANCES DE OBRA

SECCIÓN 9: TRABAJOS ADICIONALES

SECCIÓN 10: INFRAESTRUCTURA DE COMPUTO

SECCIÓN 11: EVALUACIÓN DE PROPUESTAS

SECCIÓN 12: TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN

SECCIÓN 13: FORMAS

SECCIÓN 14 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Se llama Control del Proyecto al proceso de planeación de los trabajos, la identificación, ubicación y costeo de los volúmenes de obra, la programación de su ejecución, la medición de avances, el seguimiento de programas, la detección de desviaciones a programas, el análisis de alternativas a seguir para solucionar retrasos o problemas potenciales, la toma de decisiones, el seguimiento de las acciones acordadas y la supervisión de los trabajos, incluyendo calidad, secuencias, tiempos y ritmos de ejecución de obra.

Los Concursantes deberán declarar por escrito en su Propuesta Técnica que poseen capacidad técnica de acuerdo al Art.28 Fracción VI del reglamento de la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas y al adjudicarse el Contrato, se obligan a programar, dar seguimiento y controlar el Proyecto de conformidad a las bases de concurso.

Asimismo, los Concursantes deberán declarar en sus Propuestas Técnicas que se obligan, al adjudicarse el Contrato, a proporcionar al cliente, en forma oportuna y fidedigna, toda la información requerida de acuerdo a las bases de concurso.

Los Concursantes están de acuerdo en que los requerimientos de Control del Proyecto que se señalan en las diferentes secciones e incisos de las bases formarán parte integral del Contrato que se firmará con el Concursante ganador de la Licitación.

5.2.5. BASES DE DISEÑO

En este trabajo se presentan únicamente las bases de diseño de proceso, que deben formar parte de las bases de concurso, a manera de ejemplo, ya que las bases de diseño completas para el concurso deberán contener lo relativo a otras disciplinas, tales como Tuberías, Mecánico, Eléctrico, Civil y Arquitectura.

B.1 GENERALIDADES

B.1.1 Función de la Planta.

La Planta de Tratamiento de Condensado Limpio y Aceitoso está diseñada para procesar los siguientes condensados: a) el condensado limpio, proveniente del área de fuerza y b) el condensado aceitoso, proveniente de las áreas de proceso de las plantas actuales y futuras; con la finalidad de recuperar y reutilizar los mismos para atemperación y generación de vapor. Además, cuenta con el equipo necesario para procesar el condensado de media presión proveniente de las Plantas Combinada 1 y Catalítica FCC 1 y evitar así su vaporización. Este flujo pasa a formar parte del condensado aceitoso.

En la producción de condensado de plantas futuras se consideran las siguientes: Alquilación, FCC No. 2, Azufre 2, Reductora de Viscosidad, MTBE e Isomerización:

El diseño de esta planta y su integración considera la instalación de equipo nuevo para obtener la capacidad deseada. Se deberá considerar la reutilización de los tanques de almacenamiento existentes 0221-V, 0254-V y 0255-V.

B.1.2 Tipo de Proceso.

Para la eliminación de los contaminantes presentes en el condensado aceitoso, se usa un tratamiento por medio de filtros coalescedores y después de mezclarse con el condensado limpio, se somete a pulido con resinas de intercambio iónico (catiónica, aniónica y mixta).

El condensado limpio se mezcla con el aceitoso previamente filtrado y luego se alimentan ambos al tratamiento con resinas de intercambio iónico (catiónica, aniónica y mixta).

En lo que respecta al agente de floculación se usa un agente que no se hidroliza, es decir, no se considera el uso de sulfato de aluminio u otro agente similar. Para este tratamiento se utiliza un polielectrolito.

Asimismo deberá considerarse su total integración con las instalaciones existentes.

B.2 CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD.

B2.1 Factor de Servicio.

La unidad opera con un factor de servicio de 1, es decir, trabaja los 365 días del año.

B.2.2 Capacidad y Rendimiento.

La planta está diseñada para procesar 295 m³/h de condensado aceitoso (filtración e intercambio iónico) y 334 m³/h de condensado limpio (intercambio iónico).

La capacidad normal de la planta es de 246 m³/h de condensado aceitoso (filtración e intercambio iónico) y 278

m^3/h de condensado limpio (intercambio iónico). Esta capacidad incluye el equipo necesario para procesar $26 \text{ m}^3/\text{h}$ de condensado de $16.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ man.}$ y $206 \text{ }^\circ\text{C}$, mismo que es considerado como condensado aceitoso de acuerdo a lo indicado en la minuta de la Superintendencia General de Proyectos de la Refinería de Cadereyta, N.L. del 27 de marzo de 1996. Se consideran también $15 \text{ m}^3/\text{h}$ de condensado aceitoso del área de tanques (área 27).

La capacidad mínima de operación de los equipos es de $148 \text{ m}^3/\text{h}$ de condensado aceitoso (filtración e intercambio iónico) y $167 \text{ m}^3/\text{h}$ de condensado limpio (intercambio iónico). La capacidad mínima global de la planta será función de la modularidad que finalmente se establezca durante el desarrollo del proyecto.

B.2.3 Flexibilidad.

La unidad no podrá seguir operando a falla de electricidad, debiéndose efectuar un paro ordenado de la misma.

B.2.4 Previsiones para futuras ampliaciones.

No se tendrán provisiones para ampliaciones futuras.

B.3 ESPECIFICACIÓN DE LAS ALIMENTACIONES AL PROCESO.

Los flujos y concentraciones de contaminantes para el caso de diseño se muestran en la siguiente tabla:

COMPONENTE	CONDENSADO ACEITOSO DE L.B. (ppm)	CONDENSADO LIMPIO DE L.B. (ppm)
Fe	2.0	---
Cu	0.01-0.2 máx.	0.01-0.05
Na	5.0	1.0
CO ₂	---	---
SiO ₂	0.01-0.2	0.01-0.2
Cl	---	---
SO ₄	---	---
Aceite	5-15	---
Ph	8.2-9.2	8.2-9.2
Flujo, m ³ /h (DISEÑO)	246x1.2 (1)	278x1.2 (1)
Conductividad, (μmhos/cm)	7	24

(1) 20% de sobrediseño.

B.4 ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS.

El condensado tratado deberá cumplir con los siguientes máximos permisibles, de acuerdo a los requerimientos del equipo de generación de vapor.

COMPONENTE	Especificación ppm máx.
Fe	0.020
Cu	0.003
Dureza total (como CaCO ₃)	0.000
SiO ₂	0.020
Alcalinidad total (como CaCO ₃)	---
Conductividad (μmhos/cm)	0.200

pH (unidades de pH)	7.0
Aceite libre	0.500

B.5 ALIMENTACIONES EN LÍMITES DE BATERÍA.

La planta está diseñada para recibir la carga de condensado con las siguientes condiciones:

<u>Procedencia</u>	<u>Estado Físico</u>	<u>Presión</u>	<u>Temperatura</u>	<u>Forma de Recibo</u>
		(kg/cm ² man.) máx/nor/mín	(°C) máx/nor/min	
Condensado Aceitoso de L.B.	Líquido	/4.0/	/100/	Tubería
Condensado Limpio de L.B.	Líquido	/2.5/	/90/	Tubería
Condensado de Media de Combinada 1 y Catalítica 1. (1)	Líquido	/16.9/	/206/	Tubería

(1) Considerado como Condensado Aceitoso.

B.6 CONDICIONES DE LOS PRODUCTOS EN LÍMITES DE BATERÍA. (PUNTOS DE INTERCONEXIÓN CON LAS INSTALACIONES EXISTENTES).

<u>Producto</u>	<u>Destino</u>	<u>Estado</u>	<u>Presión</u>	<u>Temperatura</u>	<u>Forma de Entrega</u>
		Físico	(kg/cm ² man.) máx/nor/mín	(°C) máx/nor/min	
Condensado Tratado	Tanques de Almacenamiento 253 V1/V2	Líquido	4.0/3.5/3.0	70/70/50	Tubería

B.7 ELIMINACIÓN DE DESECHOS.

B.7.1 Manejo de Efluentes Líquidos dentro de L.B.

La planta contará con drenajes necesarios para el manejo de los efluentes aceitosos del retrolavado y enjuague de filtros, así como de los efluentes químicos de los retrolavados y enjuagues de las resinas de intercambio iónico.

EFLUENTE	DESTINO	FRECUENCIA	TRATAMIENTO	FLUJO (LPM)	TIPO DE EFLUENTE
Retrolavados y Enjuagues de las Unidades de Intercambio Iónico	Fosas Existentes en Área de UDA'S	Por Proveedor	Sólo conducción por tubería hacia las Fosas	Por Proveedor	Ácido o Básico
Retrolavado y Enjuagues de Filtros Coalescedores	Drenaje Aceitoso de la Refinería	Esporádico	Sólo conducción hasta el Drenaje Aceitoso de la Refinería	Por Proveedor	Aceitoso

B.7.2 Normas y Requerimientos.

Para el contenido de desechos permisibles en agua y aire deberá cumplirse con las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) vigentes a la fecha.

B.8 INSTALACIONES REQUERIDAS DE ALMACENAMIENTO.

B.8.1 Alimentaciones a la Planta.

En lo que respecta al condensado aceitoso se aprovecha la disponibilidad de tres tanques de almacenamiento existentes de 5,000 barriles (0254-V y 0255-V para condensado aceitoso y 0221-V para condensado limpio) y considera la implementación de un tanque nuevo de 5,000 barriles (FB-201) para el almacenamiento del condensado limpio previo al tratamiento con resinas.

B.8.2 Productos.

El condensado tratado se envía a los Tanques de Almacenamiento 0253-V1 y 0253-V2 existentes en el Area de Fuerza de la Refinería, por lo cual no se considera necesario la adición de equipo de almacenamiento adicional.

B.9 SERVICIOS AUXILIARES.

B.9.1 Agua de Enfriamiento

Este servicio no es requerido debido a que el enfriamiento de las corrientes de condensados se realizará por medio de aerofriadores, hasta una temperatura máxima de 70 °C, con el objeto de no dañar las resinas.

No hay disponibilidad de agua de enfriamiento para esta Planta de Condensados.

B.9.2 Agua para Servicios y Usos Sanitarios.

Presión de suministro: 3.5 kg/cm²man.

Temperatura de suministro: Ambiente.

B.9.3 Agua Potable.

Suministro: Garrafones.

B.9.4 Agua Contra Incendio.

Presión: 7 kg/cm² man.

B.9.5 Aire de Instrumentos.

El aire de instrumentos es suministrado por PEMEX en L.B. con las siguientes condiciones:

Presión: 4.0 kg/cm² man.

Temperatura: 38.0°C

Temperatura de rocío: -40.0°C

Impurezas (fierro, aceite, Ninguna etc.):

Capacidad extra requerida: Por contratista

B.9.6 Aire de Planta.

Se cuenta con este servicio por la Refinería.

B.9.7 Inertes.

No aplica.

B.9.8 Alimentación de Energía Eléctrica.

Fuente de suministro: Por PEMEX.

Tensión, volts:	4160/480/220 (según se requiera)
Número de fases:	3 / 3 / 3
Frecuencia:	60 Ciclos/s
Factor de potencia, mín.:	0.90
Acometida:	Subterránea

B.9.9 Teléfonos.

Se deberá considerar la ductería y cableado de toda el área como parte integral de este proyecto.

B.10 SISTEMA DE SEGURIDAD.

B.10.1 Sistema Contra Incendio.

Se implementa el sistema de protección contraincendio para la planta, en apego a estándares internacionales, normas y recomendaciones de compañías aseguradoras, como parte integral de este proyecto.

B.10.2 Protección del Personal.

Este requerimiento está en apego a las normas de PEMEX y a estándares internacionales (recomendaciones de compañías aseguradoras), como parte integral de este proyecto.

B.11 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.

B.11.1 Temperatura.

Máxima extrema:	45.0°C
Mínima extrema:	-11.5°C
Máxima promedio:	35.0°C
Mínima promedio:	13.0°C
De bulbo húmedo promedio:	27.0°C

B.11.2 Precipitación Pluvial.

Máxima en 24 horas:	89.0 mm.
Máxima de 30 días	409.0 mm.
Promedio anual:	831.0 mm.

B.11.3 Viento.

Dirección de los vientos reinantes:	de SE a NO.
Dirección de los vientos dominantes:	de NE a SO.
Velocidad media anual:	20.0 km/h
Velocidad máxima:	130.0 km/h

B.11.4 Humedad Relativa.

Máxima:	77%
Promedio:	66%
Mínima:	55%

B.11.5 Atmósfera.

Presión atmosférica:	738 mm de Hg (14.27 psia)
Atmósfera corrosiva:	Sí (de refinería)

B. 12 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.

B.12.1 Refinería de Cadereyta, N.L.

B.12.2 Elevación de la planta sobre el nivel del mar: 327 m

B.17 BASES DE DISEÑO PARA EQUIPO.

B.17.1 Bombas.

Para la definición del equipo de bombeo, este deberá estar en apego a estándares internacionales (API 610 octava edición para bombas centrífugas y API 674 segunda edición para bombas reciprocantes).

Tipo de accionadores:	Motores eléctricos de alta eficiencia (NEMA, NEC)
------------------------------	--

Sobrediseño deseado:	20%
-----------------------------	------------

B.17.2 Recipientes.

El diseño de estos equipos deberá estar en apego a estándares internacionales, códigos o normas (ASME SECCIÓN VIII DIVISIÓN I, ÚLTIMA EDICIÓN, API 650). Se deberán considerar las Hojas de Datos del Anexo B sección II B.4

B.17.3 Aeroenfriadores.

La selección, diseño y especificación de estos equipos deberá estar en apego a estándares internacionales (API). Se deberán considerar las Hojas de Datos del Anexo B sección II B.4

B.17.4 Válvulas de Control.

Se anexan los datos para el diseño de las válvulas.

B.18 NORMAS, CÓDIGOS Y ESPECIFICACIONES.

	<u>Norma, código o especificación</u>
Recipientes a Presión	ASME SECCIÓN VIII, Div. 1
Tanques de Almacenamiento	API 650
Tubería y accesorios	ANSI
Edificios	CFE
Electricidad	NEMA, NEC, PEMEX, ANSI, NOM-SEMIP
Ruido	Normas PEMEX
Contaminación y desechos	Normas Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).
Seguridad	PEMEX, NFPA, OSHA, API.
Aeroenfriadores	API.

Bombas	API 610 y API 674
Materiales	ASTM
Instrumentos:	ISA, API, ASME, NACE, NEC, ISO, Normas PEMEX.
Válvulas de Seguridad:	ASME SECCION VIII

5.2.6 NOTAS GENERALES

Las bases de concurso pueden contener notas de importancia crucial en el desarrollo del proyecto, tales como:

1. **PEMEX no proporciona servicio como vapor, aire, corriente eléctrica, agua, etc., para esta obra.**
2. **Especificar clara y detalladamente en la síntesis de la oferta técnica el equipo, maquinaria y personal, así como el procedimiento a utilizar en la ejecución de los trabajos y su rendimiento a fin de poder evaluar la oferta.**
3. **Presentar catálogos de fabricante o información de los equipos que se emplearán.**
4. **Todo residuo que esté considerado como peligroso deberá ser destinado a su incineración o confinamiento controlado, la responsabilidad del contratista ante PEMEX Refinación terminará al recibir el manifiesto de disposición final de los residuos en el sitio de incineración o el confinamiento controlado, haciéndolo llegar por el conducto más apropiado a la Refinería.**

5. Durante el servicio se acatarán las disposiciones de la ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, sus reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.
6. El sitio asignado para la ejecución del tratamiento y al finalizar estos; se dejará libre al área de cualquier material empleado en la realización de los mismos, retirando los materiales sin dejar de ser su responsabilidad del buen manejo y disposición final.
7. El personal del contratista que ejecute los trabajos deberá utilizar ropa de algodón y equipo de seguridad adecuado a la actividad a desempeñar como se indica en las Normas y Reglamentos de Seguridad.
8. Todos los trabajos deberán estar amparados con su respectiva solicitud de trabajo potencialmente peligroso, la cual deberá ser analizada por operación, refrendada por inspección, seguridad y mantenimiento. La revalidación de la solicitud de trabajos la realizará invariablemente a diario el contratista.
9. Todos los soldadores que contrate la compañía deberán ser calificados de acuerdo al código ASME SECC. IX y a solicitud de PEMEX-Refinación, el contratista deberá proporcionar los documentos que acrediten dicha calificación.
10. El contratista será responsable de la calidad de la obra y los cumplimientos del programa, así mismo deberá disponer de los elementos, medios y facilidades para el control de calidad de la misma. En caso de que las pruebas no cumplan con las especificaciones del contratista, éste estará obligado a realizarlas por su cuenta y hacer las correcciones necesarias.
11. Cláusula de penalización: Para la entrega de equipo y dibujos, el tiempo es importante, por lo tanto se advierte al proveedor que en caso de demora se aplicará una

penalización de 2.0 al millar del monto total del pedido por cada día de retraso.

- 12. El proveedor será responsable de entregar el paquete en patines con todas las interconexiones, líneas y accesorios necesarias para sus entradas y salidas, y debe dejar la planta en condiciones de operación óptima entregando las refacciones necesarias para dos años de operación.**

CAPITULO 5.

5.3 INGENIERÍA CONCEPTUAL

5.3.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE
CONDENSADO LIMPIO Y ACEITOSO
DE LA REFINERÍA "ING. HÉCTOR R.
LARA SOSA", CADEREYTA, N. L.**

INTRODUCCIÓN.

Los condensados aceitoso y limpio provenientes de las áreas de proceso y fuerza respectivamente, se procesan en un sistema de tratamiento de condensados con el objetivo de poder recircularlos como alimentación a calderas. El tipo de proceso seleccionado consiste de separación líquido-vapor, enfriamiento, separación de aceite por coalescencia e intercambio iónico con resinas (catiónica, aniónica y lecho mixto) para el condensado aceitoso; y para el condensado limpio, enfriamiento y tratamiento con resinas de intercambio iónico (catiónica, aniónica y lecho mixto).

TRATAMIENTO DE CONDENSADO ACEITOSO.

El condensado aceitoso proveniente de L.B. a 4.0 kg/cm² man. y 100 °C se alimenta al Enfriador de Condensado Aceitoso EC-201, en donde es enfriado utilizando aire como medio de enfriamiento para alcanzar una temperatura de 70 °C, de ahí es conducido a través de un Intercambiador de Calor de Tubos y Coraza para obtener un temperatura de 50 °C máximo y enviarse a los Tanques de Condensado Aceitoso 0254-V y 0255-V existentes.

Mientras tanto, el condensado aceitoso de media presión proveniente de las Plantas Combinada I y Catalítica I a 16.9 kg/cm²

man. y 206 °C se envía al tanque Flash de Condensado de Media FA-201 en donde se reduce la presión a 4 Kg/cm² man. El vapor se integra al cabezal de vapor de baja presión y el líquido se mezcla en línea con el condensado aceitoso de L.B. para pasar por el Enfriador de Condensado Aceitoso EC-201, reduciendo la temperatura 20 °C, entonces la corriente es introducida al Cambiador de Tubos y Coraza EA-201 donde se reduce la temperatura a 50 °C.

Los Tanques de Condensado Aceitoso 0254-V y 0255-V están arreglados en paralelo para dar flexibilidad a la operación, ya que pueden utilizarse invariablemente uno u otro; ambos cuentan con boquillas para drenar el aceite que pueda separarse y enviarlo al drenaje aceitoso por gravedad. El condensado aceitoso se envía mediante la Bomba de Condensado Aceitoso GA-201/R hacia el Mezclador Estático GD-202X, previa mezcla en línea con el polímero que funciona como agente coagulante y el cual es preparado en el Tanque de Polímero FB-201X mediante el Mezclador de Polímero GD-201X. Este polímero se inyecta en línea mediante la Bomba Dosificadora de Polímero GA-201/RX. El condensado aceitoso junto con el polímero se hacen pasar a través del Mezclador Estático GD-202X para un mezclado completo y de aquí entrar al Filtro de Condensado Aceitoso FD-201A-IX. El condensado ya libre de aceite se mezcla con el condensado limpio para alimentarse conjuntamente a las Unidades de Intercambio Iónico.

TRATAMIENTO DE CONDENSADO LIMPIO.

El condensado limpio de L.B., a 2.5 kg/cm² man. y 90 °C, se alimenta al Enfriador de Condensado Limpio EC-202 en donde disminuye su temperatura hasta 50 °C máximo y pasa a los Tanques de Condensado Limpio 0221-V y FB-201, existente y nuevo respectivamente, los cuales están arreglados en paralelo para dar flexibilidad a la operación, ya que pueden utilizarse invariablemente uno u otro.

El condensado limpio se envía desde estos Tanques mediante la Bomba de Condensado Limpio GA-202/R a mezclarse con el condensado aceitoso filtrado para alimentarse conjuntamente a las Unidades de Intercambio Iónico.

Para el retrolavado del Filtro de Condensado Aceitoso FD-201A-IX, se bombea condensado limpio intermitentemente desde los Tanques de Condensado Limpio 0221-V y FB-201 por medio de la Bomba GA-203/R, enviándose el agua de retrolavado al drenaje aceitoso.

PULIDO DE CONDENSADOS.

La mezcla de condensados limpio y aceitoso filtrado se hace pasar a través de la Unidad Catiónica BG-201A-CX en donde son removidos los cationes indeseables, para posteriormente pasar por la Unidad Aniónica BG-202 A-CX, en donde se eliminan los aniones, para finalmente pasar por el Lecho Mixto BG-203A-BX, el cual está empacado con resina catiónica y aniónica para efectuar una remoción prácticamente completa de los sólidos disueltos totales (SDT) dejando el condensado bajo especificación para ser reutilizado como alimentación de calderas. El condensado tratado es enviado a los Tanques 0253-V1 y 0253-V2 existentes.

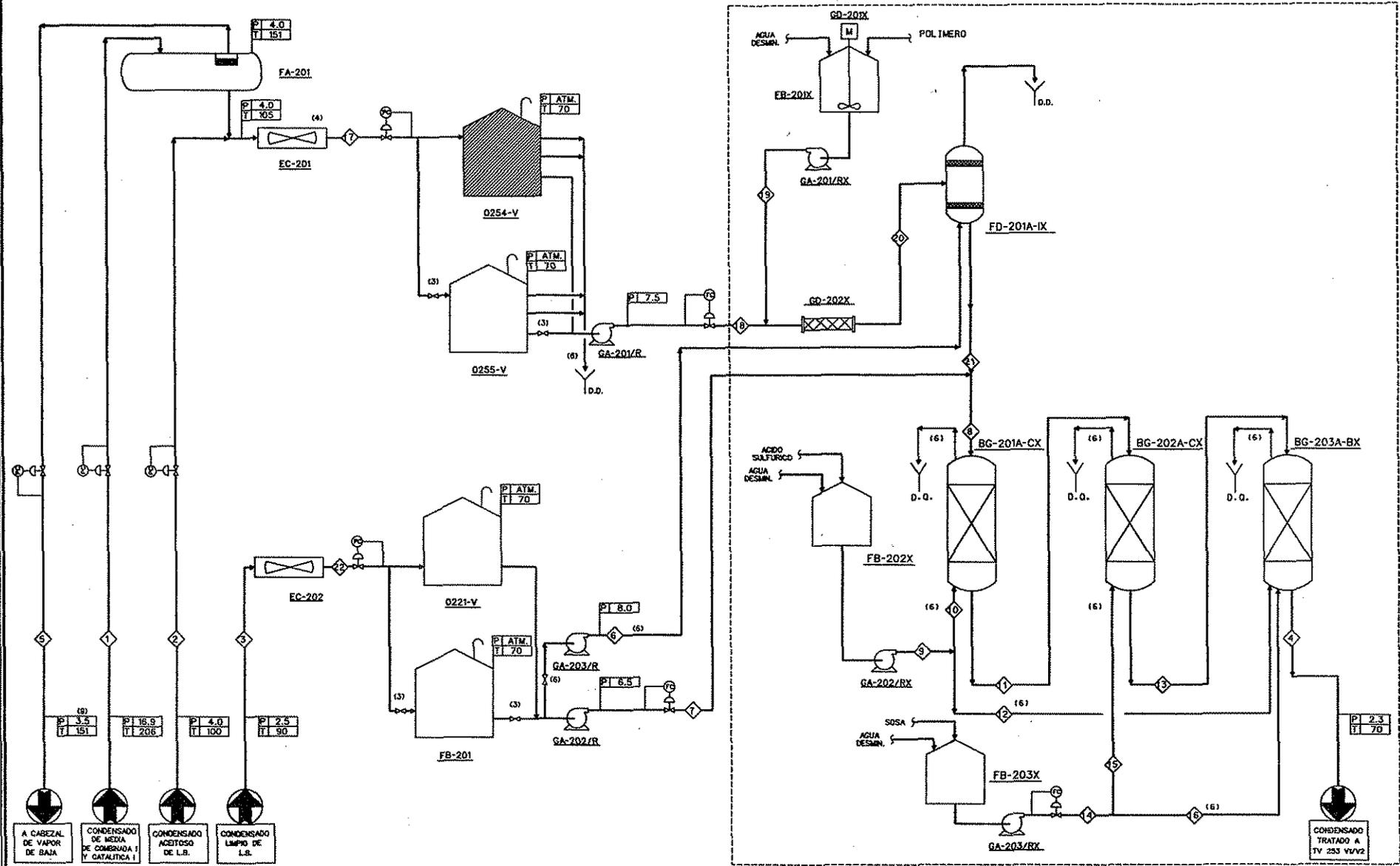
El sistema cuenta con el Tanque de Regenerante Catiónica FB-202X y la Bomba de Regenerante Catiónico GA-202/RX para realizar la regeneración de la resina catiónica con ácido sulfúrico y cuenta con el Tanque de Regenerante Aniónica FB-203X y la Bomba de Regenerante Aniónico GA-203/RX para realizar la regeneración de la resina aniónica con sosa cáustica. Además, estos mismos equipos son usados para la regeneración de las resinas catiónica y aniónica contenidas en el Lecho Mixto BG-203A-BX.

Adicionalmente, el sistema podría contar con torres de lavado externo de resinas, por medio de las cuales se efectúa, cuando sea necesario el lavado de las resinas por medio de un detergente especial el cual se circularía como solución acuosa a través de las torres que contendrían la resina a lavar para eliminar el aceite que pudiera haber retenido. Estos equipos de lavado deben ser definidos por el proveedor del paquete.

5.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

	1	2	3	4	5
FLUJO NOMINAL kg/h	25.943	219.645	277.601	520.245	2.983
FLUJO NOMINAL m ³ /h	3.9	220	278	521	3.0
ACRILATO ppm	5-15	5-15	---	0.5ppm	---
CONDUCTIVIDAD umhos/cm	7 (6)	7 (6)	24 (6)	0.2	---
PRESION kg/cm ² man.	16.9	4.0	2.5	2.3	3.5
TEMPERATURA °C	206	100	90	70	151
DENSIDAD A P y T, Kg/m ³	0.86	0.96	0.96	0.96	2.25

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



- NOTAS:**
- 1.- PRESION EN Kg/cm²man. 1 TEMPERATURA EN °C.
 - 2.- EQUIPO EXISTENTE.
 - 3.- NORMALMENTE SIN FLUJO.
 - 4.- EL EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR SERA DISEÑADO PARA SUBENFRÍAR LOS CONDENSADOS A 70°C.
 - 5.- LAS CARACTERISTICAS FINALES DEL EQUIPO PAQUETE SERAN DEFINIDAS POR EL PROVEEDOR.
 - 6.- FLUJO INTERMITENTE.
 - 7.- EL CONTROL DEL PROCESO SE HARA MEDIANTE UN PLC COMPATIBLE CON EL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO "SIMATIC" EXISTENTE EN LA REFINERIA.
 - 8.- DATO PROPORCIONADO POR LA OPERATIVA DE LA REFINERIA.
 - 9.- PRESION MINIMA REQUERIDA EN EL PUNTO DE INTEGRACION.
 - 10.- EL PROVEEDOR DEBERA SUMINISTRAR TODA LA INSTRUMENTACION REQUERIDA PARA GARANTIZAR UNA OPERACION ADECUADA (VER NOTA 7).

LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
BG-201 A-CX	UNIDAD CATIONICA	(5)
BG-202 A-CX	UNIDAD ANIONICA	(5)
BG-203 A-BX	LECHO MIXTO	(5)
EC-201	ENFRIGADOR DE CONDENSADO ACEITOSO	8.498x1.2 M ² ccol/h
EC-202	ENFRIGADOR DE CONDENSADO LIMPIO	5.562x1.2 M ² ccol/h
FA-201	FLASH DE CONDENSADO DE 1829 mm D.I.x10973 mm T-MEDIA	
FB-201X	TANQUE DE POLIMERO	(5)
FB-202X	TANQUE DE REGENERANTE CATIONICO	(5)
FB-203X	TANQUE DE REGENERANTE ANIONICO	(5)
FB-201	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	9652 mm D.I.x10973 mm T-MEDIA
O221-V	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	9652 mm D.I.x10973 mm T-MEDIA
O254-V	TANQUE DE CONDENSADO ACEITOSO	9652 mm D.I.x10973 mm T-MEDIA
O255-V	TANQUE DE CONDENSADO ACEITOSO	9652 mm D.I.x10973 mm T-MEDIA
FD-201A-IX	FILTRO DE CONDENSADO ACEITOSO	(5)
GA-201/R	BOMBA DE CONDENSADO ACEITOSO	4100x1.2 LPM; ρ=7.5kg/cm ³
GA-202/R	BOMBA DE CONDENSADO LIMPIO	4680x1.2 LPM; ρ=6.5kg/cm ³
GA-203/R	BOMBA DE RETROLAVADO DE FILTROS	2667x1.2 LPM; ρ=8.0kg/cm ³
GA-201/RX	BOMBA DOSIFICADORA DE POLIMERO	(5)
GA-202/RX	BOMBA DE REGENERANTE CATIONICO	(5)
GA-203/RX	BOMBA DE REGENERANTE ANIONICO	(5)
GD-201X	MEZCLADOR DE POLIMERO	(5)
GD-202X	MEZCLADOR ESTATICO	(5)

DIBUJOS DE REFERENCIA		BASES DE CONCURSO		GJA GJA GJA GJA GJA		ING. ESP. DEPTO. DIV.		MONTE. PROV. FECHA CLIENTE FECHA		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> PLAN DE CONCURSO N° 02-01 </div>	
PLANTA DE CONDENSADOS										DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE TRATAMIENTO DE CONDENSADOS LIMPIO Y ACEITOSO	
REV. DESCRIPCION										DIB. No.-N-MIP-DPP-COND0001 REV. 1	

5.3.3 LISTA DE EQUIPO

LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
BG-201 A-CX	UNIDAD CATIONICA	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h D.I. = 3048 mm LONG. T-T = 3048 mm Material : A.C.
BG-202 A-CX	UNIDAD ANIONICA	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h D.I. = 3048 mm LONG. T-T = 3048 mm Material : A.C.
BG-203 A-BX	LECHO MIXTO	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h D.I. = 3048 mm LONG. T-T = 3048 mm Material : A.C.
EA-201	ENFRIADOR DE CONDENSADO ACEITOSO	A = 8,030 ft ² , 12.14 * 10 ⁶ kcal/h Material : A.C.
EA-202	ENFRIADOR DE CONDENSADO LIMPIO	A = 11,110 ft ² , 13.4 * 10 ⁶ kcal/h Material : A.C.
EC-201	ENFRIADOR DE CONDENSADO DE MEDIA	A = 510 ft ² 0.6 * 10 ⁶ kcal/h Material : A.C.
FB-201 X	TANQUE DE POLIMERO	D.I. = 762 mm LONG. T-T = 914 mm Material : A.C.
FB-202 X	TANQUE DE REGENERANTE CATIONICO	D.I. = 4592 mm LONG. T-T = 4877 mm Material : A.C.
FB-203 X	TANQUE DE REGENERANTE ANIONICO	D.I. = 4592 mm LONG. T-T = 4877 mm Material : A.C.
FB-204	TANQUE DE CONDENSADO ACEITOSO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm Material : A.C.

LISTA DE EQUIPO (CONT.)

FB-205	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm Material : A.C.
FB-206	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm Material : A.C.
FD-201 A-HX	FILTRO DE CONDENSADO ACEITOSO	CAP. = 206 * 1.2 m ³ /h D.I. = 1823 mm LONG. T-T = 3656 mm Material : A.C.
GA-201/RX	BOMBA DOSIFICADORA DE POLÍMERO	CAP. = 3 LPM $\Delta P = 6.5 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.
GA-202/R	BOMBA DE CONDENSADO ACEITOSO A TRATAMIENTO	CAP. = 3468 LPM $\Delta P = 8.0 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.
GA-203/R	BOMBA DE RETROLAVADO DE FILTROS	CAP. = 2667 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.
GA-204/R	BOMBA DE CONDENSADO LIMPIO A TRATAMIENTO	CAP. = 4317 LPM $\Delta P = 7.0 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.
GA-205/RX	BOMBA DE REGENERANTE CATIONICO	CAP. = 689 * 1.1 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.
GA-206/RX	BOMBA DE REGENERANTE ANIÓNICO	CAP. = 855 * 1.1 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$ Material : A.C.

CAPÍTULO 5

5.4 INGENIERÍA DE COSTOS

CAPÍTULO 5

5.4 INGENIERÍA DE COSTOS

En esta sección se muestra el estudio de costos de una Planta de Tratamiento de Condensados, en la Refinería de Cadereyta, N.L., lo cual incluye la estimación del costo de la planta mediante diferentes métodos.

5.4.1. MÉTODO DEL PRECIO UNITARIO

Este método consiste en la obtención de un estimado de orden de magnitud de la inversión para un proceso dado mediante la multiplicación del costo de inversión conocido por unidad de capacidad por la capacidad de la planta propuesta. Mediante el uso de índices de costos puede hacerse la actualización deseada a la fecha requerida.

En nuestro caso, para una planta de tratamiento de condensados similar (considerando las instalaciones de almacenamiento, filtración y desmineralización), con una capacidad de 120,000 GPH el costo de inversión es de \$ 2,425,200 US DLS a abril de 1978, por consulta directa de una planta similar.

Precio Unitario :

$$\text{\$ 2,425,200 US DLS / 120,000 GPH} = \text{\$ 20.21 US DLS/GPH}$$

La capacidad de la planta es : 581 m³ /h

$$\begin{aligned} 581 \text{ m}^3 / \text{h} * \text{Gal} / 0.003785 \text{ m}^3 &= 153,501 \text{ GPH} \\ &= 2,558 \text{ GPM} \\ &= 9,683 \text{ LPM} \\ &= 161 \text{ LPS} \end{aligned}$$

Para una mejor idea de la capacidad de la planta, por consiguiente :

$$\text{\$ } 20.21 \text{ US DLS/GPH} * 153,501 \text{ GPH} = \text{\$ } 3,102,922 \text{ US DLS}$$

Tomamos los índices para actualizar el costo a 1998.

Índice C.E. 1978 : 557

Índice C.E. 2002 : 1095

Entonces el precio actualizado es :

$$\text{\$ } 3,102,922 \text{ US DLS} * (1095/557) = 6,100,000 \text{ US DLS}$$

En pesos, considerando una paridad de \$ 9.2 / US DLS, se obtiene :

$$\text{\$ } 6,100,000 \text{ US DLS} * \text{\$ } 9.2 / \text{US DLS} = \text{\$ } 56,120,000 \text{ pesos.}$$

\$56,120,000 pesos

5.4.2 MÉTODO EXPONENCIAL

Este método consiste en la obtención de un estimado de orden de magnitud de la inversión para un proceso dado mediante la multiplicación del costo de inversión conocido por la relación de capacidades de la planta nueva a la planta conocida; con esta relación de capacidades elevada a un exponente. El exponente se ha encontrado que tiene un valor promedio de 0.6 - 0.7.

La ecuación para este método es :

$$\text{Costo B} = \text{Costo A} \left(\frac{\text{Capacidad B}}{\text{Capacidad A}} \right)$$

Se cuenta con el costo de una planta similar para una desmineralizadora de agua de alimentación a calderas de enero de 2002.

Costo A = 1,714,000 US DLS

Capacidad A = 30 l/s

Aplicando la ecuación :

$$\text{Costo B} = \$ 1,714,000 \text{ US DLS} \left(\frac{161}{30} \right)^{0.65}$$

Costo B = \$ 5,108,800 US DLS

En pesos, considerando una paridad de \$ 9.2 / US DLS, se obtiene :

$$\text{Costo B} = \$ 47,000,960$$

5.4.3 MÉTODO DE GUTHRIE

Los estimados intermedios incluyen los métodos de factores como el de Lang, el de Rudd y Watson, el de Hirsch Glazzier. El método más completo y consistente es el de Módulos de Guthrie, el cual parte del conocimiento del costo de los equipos.

5.4.2.1 ESTIMADOS DE COSTOS DE EQUIPO

El estimado del costo de los equipos se realizó mediante el uso del software QESTIMATE, en consideración de que los equipos que conforman la planta de tratamiento de condensados incluyen algunos equipos especiales de tratamiento de aguas y de que este paquete da una muy buena precisión en el estimado:

RESUMEN DE COSTO DE EQUIPOS

CLAVE	SERVICIO	CARACTERÍSTICAS	COSTO EN MILES DE DÓLARES
BG-201 A-CX	UNIDAD CATIÓNICA	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h	180
BG-202 A-CX	UNIDAD ANIÓNICA	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h	180
BG-203 A-BX	LECHO MIXTO	CAP. = 484 * 1.2 m ³ /h	180
EA-201	ENFRIADOR DE CONDENSADO ACEITOSO	A = 8,030 ft ² , 12.14 * 10 ⁶ kcal/h	67
EA-202	ENFRIADOR DE CONDENSADO LIMPIO	A = 11,110 ft ² , 13.4 * 10 ⁶ kcal/h	88
EC-201	ENFRIADOR DE CONDENSADO DE MEDIA	A = 510 ft ²	10
FB-201 X	TANQUE DE POLÍMERO	D.I. = 762 mm LONG. T-T = 914 mm	3
FB-202 X	TANQUE DE REGENERANTE CATIÓNICO	D.I. = 4592 mm LONG. T-T = 4877 mm	27
FB-203 X	TANQUE DE	D.I. = 4592 mm	27

	REGENERANTE ANIÓNICO	LONG. T-T = 4877 mm	
FB-204	TANQUE DE CONDENSADO ACEITOSO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm	39
FB-205	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm	39
FB-206	TANQUE DE CONDENSADO LIMPIO	D.I. = 9652 mm LONG. T-T = 10973 mm	39
FD-201 A-HX	FILTRO DE CONDENSADO ACEITOSO	CAP. = 206 * 1.2 m ³ /h D.I. = 1823 mm LONG. T-T = 3656 mm	28
GA-201/RX	BOMBA DOSIFICADORA DE POLÍMERO	CAP. = 3 LPM $\Delta P = 6.5 \text{ kg/cm}^2$	2
GA-202/R	BOMBA DE CONDENSADO ACEITOSO A TRATAMIENTO	CAP. = 3468 LPM $\Delta P = 8.0 \text{ kg/cm}^2$	25
GA-203/R	BOMBA DE RETROLAVADO DE FILTROS	CAP. = 2667 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$	30
GA-204/R	BOMBA DE CONDENSADO LIMPIO A TRATAMIENTO	CAP. = 4317 LPM $\Delta P = 7.0 \text{ kg/cm}^2$	25
GA-205/RX	BOMBA DE REGENERANTE CATIÓNICO	CAP. = 689 * 1.1 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$	23
GA-206/RX	BOMBA DE REGENERANTE ANIÓNICO	CAP. = 855 * 1.1 LPM $\Delta P = 5.0 \text{ kg/cm}^2$	24
TOTAL			1,036

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.4.3.2 ESTIMADO DE MÓDULOS DE GUTHRIE

La aplicación de este método al estimado de una planta de proceso, considera la agrupación de los principales elementos de costo en seis diferentes módulos :

- Procesamiento Químico
- Manejo de Sólidos
- Desarrollo del Sitio
- Edificios Industriales
- Instalaciones "Offsite"
- Indirectos del Proyecto

Cada módulo representa un grupo de elementos de costo con características y relaciones similares. Cada módulo puede integrarse o combinarse con otros módulos en el nivel de costos de materiales y mano de obra.

Todos los módulos de proceso químico se obtienen de la combinación de siete elementos primarios de costos :

- Costo de Equipo Libre a Bordo
- Material Directo
- Mano de Obra Directa de Campo
- Costo de Material y Mano de Obra
- Costos Indirectos
- Costo Simple del Módulo
- Costo Total del Módulo

Y catorce elementos secundarios de costo, los costos directos de materiales de campo :

- Tubería Concreto
- Acero

- Instrumentos
- Eléctrico
- Aislamiento
- Pintura

Los costos de instalación :

- Erección
- Ajuste de Equipo

Y los Indirectos:

- Fletes, Seguros, Impuestos
- Sobrecosto de Construcción
- Ingeniería
- Contingencias
- Honorarios del Contratista

El valor en dólares de cada elemento de costo (excepto los indirectos) en un módulo particular es obtenido del costo del equipo libre a bordo aplicando las relaciones de factores establecidos de los datos de realimentación y normalizados para acero al carbón.

Los factores se toman de las figuras de la Sección de Datos de Costos del artículo de K.M. Guthrie, en donde cada unidad representa \$100,000 dólares.

En el caso de la Planta de Tratamiento de Condensados, consideramos el desarrollo de los siguientes Módulos :

- Módulo de Proceso Químico
- Módulo de Acondicionamiento del Terreno
- Módulo de Edificios y Estructura

CÁLCULOS CORRESPONDIENTES AL MÓDULO DE PROCESO QUÍMICO

Se desarrolla el Módulo de Proceso Químico para obtener el costo del circuito de proceso, lo cual incluye tanto los costos directos como los indirectos. El costo directo incluye equipo junto con tubería e instrumentación, estructuras menores tales como soportes y escaleras, cimientos de concreto, subestructuras (no pilotes), aislamiento y pintura.

La construcción del módulo, puede hacerse usando primeramente la sección de datos de costo y luego construyendo la Tabla II del artículo de K.M. Guthrie. Posteriormente, se hacen los cálculos correspondientes a los costos indirectos y simultáneamente se va conformando el esquema del módulo para obtener el factor de costo total del mismo.

Para la Planta de Tratamiento de Condensados partimos del hecho de que se conoce el costo de los equipos libre a bordo de acuerdo a la siguiente tabla:

EQUIPOS	% DEL TOTAL	MILES DE DÓLARES
Intercambio Iónico (Recipientes Verticales)	52.0	541
Cambiadores de Calor	16.0	165
Tanques	17.0	175
Filtros (Recipientes Verticales)	3.0	27
Bombas	12.0	128
TOTAL	100.00	1,036

A partir de estos datos, se construye la siguiente tabla:

TABLA RESUMEN DEL MÓDULO DE PROCESO QUÍMICO

MAGNITUD M \$	1,136 Int. Iónico y Filtro (Recipientes Verticales)	330 Cambiador es de Calor	350 Tanques	256 Bombas	2,072 Total del Módulo
Costo del Equipo LAB %	55.0	16.0	17.0	12.0	100.00
Tubería Concreto Acero Instrumentos Eléctrico Aislamiento Pintura	*1.03	*0.71	*0.20	*0.72	*0.801
Materiales (m) %	56.7	11.4	3.4	8.6	80.1
Material Directo (M=E+m) %	111.7	27.4	20.4	20.6	180.1
Material de erección Material de ajuste	*0.47	*0.37	*0.11	*0.41	*0.41
Mano de Obra Directa (L)%	52.5	10.1	2.2	8.4	73.2
Costo de M & L %	164.2	37.5	22.6	29.0	253.3

Como puede desprenderse de la tabla anterior, para obtener el valor en miles de dólares se multiplica:

$$M \& L = 1,036 \text{ M \$ } * 253.3 / 100 = 2,624 \text{ M \$}$$

Para convertir a pesos multiplicamos por 9.2 pesos/ dólar y por 1000:

$$2,624 * 9,200 = M \& L = \$ 24,140,800 \text{ pesos}$$

CÁLCULO DE INDIRECTOS PARA EL MÓDULO DE PROCESO QUÍMICO

Los Costos Indirectos incluyen:

- Los fletes (local e importación), seguros e impuestos
- Sobrecosto de construcción (Overhead)
- Beneficios complementarios (vacaciones, enfermedad, retiro)
- Cargos por mano de obra (seguro social)
- Supervisión de campo
- Instalaciones temporales
- Equipo y herramientas de construcción
- Misceláneos
- Ingeniería del contratista

CÁLCULO DEL OVERHEAD

Para determinar el Factor de Costo Indirecto, entramos en la gráfica de Fco VS. L/M con L/M = 0.40 y se lee Fco = 1.2 ; y en la gráfica de Fmo VS : M & L entramos con M & L = 5.25 y leemos Fmo = 0.98 ; entonces el Overhead es :

$$\text{Overhead \%} = M \& L (0.178) * Fco * Fmo = 2.53 (0.178)(1.2) (.98) = 0.53$$

$$\text{Overhead \%} = 0.53$$

Para Fletes : Considerar el 3 %

CÁLCULO DE LOS COSTOS DE INGENIERÍA

Para Ingeniería : Leemos en las gráficas correspondientes $F_{ce} = 1.0$ y $F_{me} = 1.0$ y de acuerdo a las características del proyecto como planta de proceso químico, $F_{pt} = 1.0$, entonces :

$$\text{Ingeniería\%} = M\&L(0.1)*F_{ce}*F_{me}*F_{pt} = 2.53 (0.1)(1.0)(1.0)(1.0)= 0.25$$

$$\text{Ingeniería\%} = 0.25$$

FACTOR TOTAL POR INDIRECTOS

Fletes	=	0.30
Overhead		=0.53
Ingeniería		=0.25
Factor total por Indirectos	=	0.81

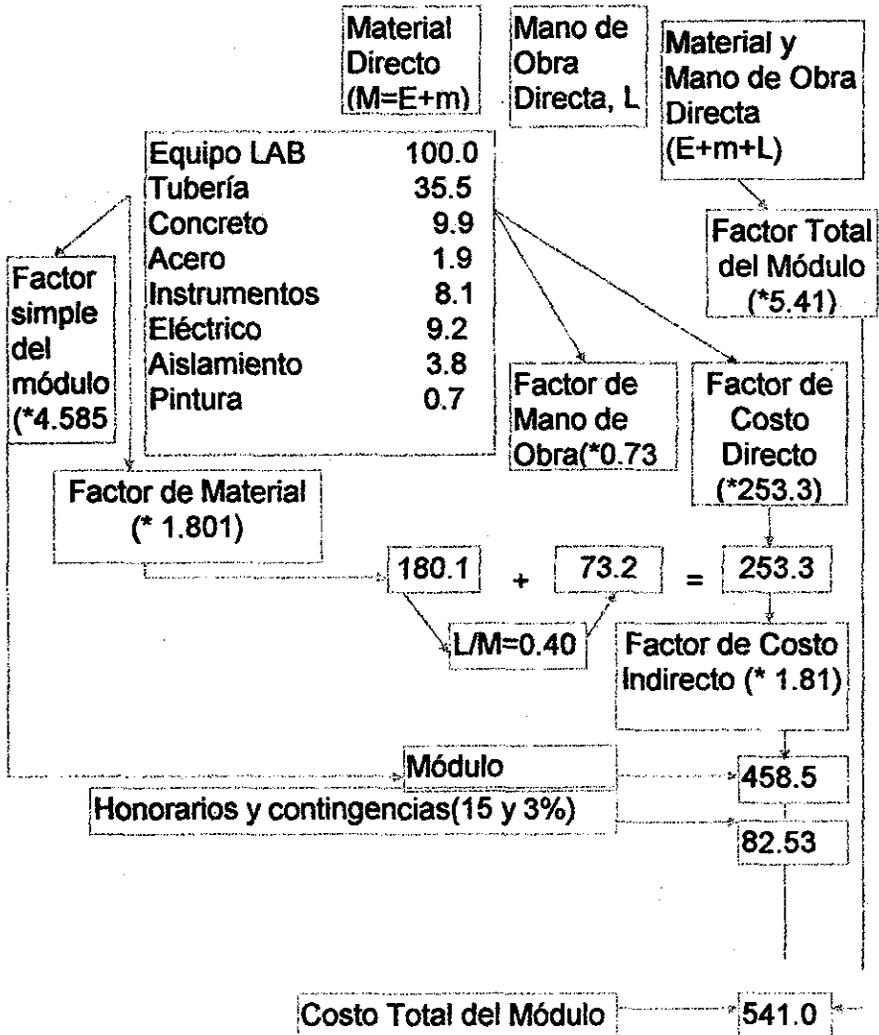
Por lo tanto,

Factor de Indirectos es: 1.81

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El módulo de proceso químico queda conformado así:

ESQUEMA DEL MÓDULO DE PROCESO



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Con el factor de costo indirecto aplicado en el esquema anterior, se obtiene el factor de costo total del módulo = 541, entonces para obtener el valor en miles de dólares se multiplica:

COSTO TOTAL DEL MÓDULO DE PROCESO QUÍMICO

$$1,036 \text{ M\$} * 541 / 100 = 5,605 \text{ M\$}$$

Para convertir a pesos multiplicamos por 9.2 pesos/ dólar y por 1000:

$$5,605 * 9,200 = \$ 51,566,000 \text{ pesos}$$

**COSTO TOTAL DEL MÓDULO = \$ 51,566,000 pesos
DE PROCESO QUÍMICO**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MÓDULO DE ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

A.	Bombeo y Drenaje L/M	Costo	Relación
	1bomba * 60 días * \$ 2356 /día	141,360	
B.	Cerca Perimetral estar dentro de la refinería	No se requiere por	
C.	Equipo Contraincendio	Existente	
D.	Topografía	Existente	
E.	Mecánica de Suelos	Existente	
F.	Jardinería	No se requiere	
G.	Caminos, Banquetas, Pavimentos		
	Caminos	No aplica	
	banquetas $300 \text{ m}^2 * 539 \text{ \$/m}^2 =$	323,180	0.22
	Losa de Piso $900 \text{ m}^2 * 998 \text{ \$/m}^2 =$	898,200	1.75
	Rebri.c/Grava $1,500\text{m}^2 * 213 \text{ \$/m}^2 =$	319,500	0.52
H.	Drenajes		
	Tubería de Asbesto Cemento		
	95 m * 525 \$/m =	49,875	0.38
	Tubería Concreto Reforzado		
	230 m * 713 \$/m =	163,990	0.38
I.	Terracerías		
	Corte (30%) $1,342\text{m}^2 * 38 \text{ \$/m}^2 =$	50,996	0.30
	Nivelado $2,200 \text{ m}^2 * 34 \text{ \$/m}^2 =$	74,800	
J.	Excavación Cimentaciones		
	Máquina $95\text{m}^3 * 100 \text{ \$/m}^3 =$	9,500	0.58

Manual 80m³ *715 \$/m³ = 57,200

COSTO DIRECTO M & L = 1,927,121

CÁLCULO DE INDIRECTOS

Impuestos	0.15
Overhead Const.	0.18
Ingeniería	0.1
Total	0.43

1,927,121 * 0.43 = 828,662

Subtotal 2,755,783

CONTINGENCIAS (15%) 413,367

COSTO TOTAL DEL MÓDULO ACOND. TERRENO = \$ 3,169,150

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MÓDULO DE EDIFICIOS Y ESTRUCTURA

A. Cuarto de Control

Niveles	1	(Fn = 1.0)
Tipo	Medio	
Área	48 m ²	
Cimentación	Zapatatas Aisladas	(Ff = 0.0)
Techo	Plano	(Fr = 0.0)
Costo Base =	80m ² *6,605 \$/m ² =	528,420
Alumbrado y Elect.	80m ² *3,104 \$/m ² =	248,340
Aire Acondicionado=	80m ² *5,992 \$/m ² =	479,340
Mobiliario =	80m ² *325 \$/m ² =	26,000
COSTO DIRECTO M & L		1,282,100
INDIRECTOS (30%)		384,630
COSTO DEL CUARTO		1,666,730
CONTINGENCIAS (15%)		250,400
COSTO TOTAL DEL CUARTO		1,916,730

B. Estructura del Enfriador de Condensado de Media EC-201

Área 6.0 m * 3 m = 18 m²

Altura = 5 m

Tipo : Soloaire

Costo Base = (18*5) * 7,219 \$/m ³	649,710
Inst. Campo M & L	
Indirectos (27 %)	175,420
COSTO	825,130
CONTINGENCIAS (10 %)	82,510

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COSTO TOTAL ESTRUCTURA	907,640
-------------------------------	----------------

Se integran los Costos del Cuarto de Control y la Estructura del Soporte del Soloaire para obtener el Total del Módulo.

COSTO DIRECTO M & L	1,282,100
	649,700
=	1,931,800

INDIRECTOS	384,630
	175,420
=	560,050

CONTINGENCIAS	250,400
	82,510
=	332,910

TOTAL DE MÓDULOS EDIF. Y ESTRUC. = \$ 2,824,760

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**RESUMEN DE COSTOS TOTALES OBTENIDOS CON EL
MÉTODO DE
MÓDULOS DE GUTHRIE APLICADO A LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE CONDENSADOS**

CONCEPTO	MÓDULO DE PROCESO	MÓDULO DE ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	MÓDULO DE EDIFICIOS	TOTAL M. N.
COSTO DIRECTO M & L	24,140,800	1,927,121	1,931,800	27,999,721
INDIRECTOS	19,554,048	828,662	560,050	20,942,760
SUBTOTAL	43,694,848	2,755,783	2,491,850	48,942,481
CONTINGENCIAS	7,871,152	413,367	332,910	8,617,429
TOTAL	51,566,000	3,169,150	2,824,760	57,559,910

5.4.4 COSTO DE LA PLANTA

Enseguida, se presenta un resumen de los resultados obtenidos por los diferentes métodos empleados para la estimación del costo de la Planta de Tratamiento de Condensados.

RESUMEN DE RESULTADOS

MÉTODO DE ESTIMACIÓN	COSTO EN PESOS	COSTO EN MM USDLS
	2002	2002
MÉTODO DEL PRECIO UNITARIO	\$ 56,120,000	\$ 6.100
MÉTODO EXPONENCIAL	\$ 47,000,960	\$ 5.109
MÉTODO DE MÓDULOS DE GUTHRIE	\$ 57,559,910	\$ 6.257

La mejor estimación del costo de la planta es la obtenida mediante el método de Guthrie, el cual resulta muy razonable respecto a la reciente cotización obtenida para una planta similar. Esto ocurre porque el método toma en cuenta la gama de elementos de costo directos e indirectos, considerando aspectos tales como el acondicionamiento del terreno, la construcción de edificios, además del costo de la planta en sí.

Así que el valor obtenido por el método de módulos de Guthrie será el que se tomará como referencia para hacer el estimado de Ingeniería.

5.4.5. ESTIMADOS DE INGENIERÍA

La presentación de un estimado de ingeniería depende de:

- La organización de la entidad que va a hacer el trabajo
- El tipo de contrato
- La información disponible

El estimado de ingeniería se puede hacer de las siguientes maneras:

- Sistema de Factores. El estimado puede obtenerse como un porcentaje de:
 - ⇒% del Costo Total
 - ⇒% del Costo Directo
 - ⇒% del Costo del Equipo de Proceso

Método Simplificado: El estimado puede obtenerse utilizando información estadística de:

- ⇒Horas-Hombre por Equipo
- ⇒Horas-Hombre por Plano

Método Detallado. En éste se parte de la información detallada de las actividades de ingeniería programadas para cada una de las especialidades involucradas, las cuales pueden establecerse como:

- ⇒Actividad

- ⇒ Planos
- ⇒ Documentos
- ⇒ Sistemas

5.4.3.1 ESTIMADO POR FACTORES

En este estimado se parte del costo total de la planta el cual se toma como \$ 57,559,910 pesos, obtenido con el Método de Módulos de Guthrie; entonces:

Considerando el % del Costo Total Típico, en la siguiente tabla se muestra el estimado de Ingeniería, así como otros rubros del proyecto.

TABLA QUE MUESTRA EL COSTO DE INGENIERÍA COMO % DEL COSTO TOTAL DEL PROYECTO

ASPECTO	% TÍPICO DEL COSTO TOTAL	COSTO EN PESOS
INGENIERÍA	10	5,755,991
EQUIPO	30	17,267,973
MATERIALES	28	16,116,775
CONSTRUCCIÓN	23	13,238,779
INDIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN	9	5,180,392
TOTAL	100	\$ 57,559,910

Enseguida, se muestra el Estimado Simplificado.

5.4.5.2 ESTIMADO SIMPLIFICADO

En este estimado, se considera el consumo de Horas-Hombre por Equipo, para los casos cuando se incluye la Ingeniería Básica y para cuando la Ingeniería Básica es por licenciador. En nuestro caso, ya se cuenta con una Ingeniería Básica preliminar y no se considera necesario dejar el trabajo en manos del licenciador, por lo que los resultados de la segunda columna sólo sirven de ilustración del estimado. El número de equipos principales para esta planta es 19, de acuerdo a la lista de equipo:

TABLA QUE MUESTRA EL COSTO DE INGENIERÍA COMO FUNCIÓN DE LAS H-H POR EQUIPO

DEPARTAMENTO	ING. BÁSICA INCLUIDA		ING. BÁSICA POR LICENCIADOR	
	H-H/EQUIPO	H-H CALCULADAS	H-H/EQUIPO	H-H CALCULADAS
ESTRUCTURAL	79	1,501	59	1,121
ELÉCTRICO	58	1,102	45	855
TUBERÍAS	302	5,738	344	6,536
PROCESO	88	1,672	53	1,007
INSTRUMENTACIÓN	55	1,045	48	912
MECÁNICO	36	684	39	741
TOTAL DISEÑO	618	11,742	588	11,172

Considerando un costo de \$ 450.00 pesos / H-H (50 US DLS/H-H, de acuerdo a una paridad de 9\$ / US DLS).

$$11,742 \text{ H-H} * \$ 450.00 \text{ pesos / H-H} = \$ 5,283,900 \text{ pesos}$$

Por tanto,

COSTO DE INGENIERÍA = \$ 5,283,900 pesos

Que resulta ser $5,283,900 * 100 / 57,559,910 = 9.2 \%$ del valor de la Planta. Adicionando las H-H por Coordinación - Administración y Procuración, sobre la base de la obtención de factores a partir de la tabla de Estadísticas de Proyectos Terminados.

$$\text{H-H COORDINACIÓN Y ADMÓN.} = 11,742 \text{ H-H} * 15,500/82148 =$$

$$| \qquad \qquad \qquad 11,742 \text{ H-H} * 0.19$$

$$\text{H-H COORDINACIÓN Y ADMÓN.} = 2,231 \text{ H-H}$$

$$\text{H-H PROCURA} = 11,742 \text{ H-H} * 13,600/82148 =$$

$$11,742 \text{ H-H} * 0.17$$

$$\text{H-H PROCURA} = 1,996 \text{ H-H}$$

$$\text{H-H ADICIONALES} = 2,231 + 1,996 = 4,227 \text{ H-H,}$$

de esta manera el Costo de Ingeniería resulta ser:



$(11,742 \text{ H-H} + 4,227 \text{ H-H}) * \$ 450.00 \text{ pesos} / \text{H-H} = \$ 7,186,050$
pesos

COSTO DE INGENIERÍA = \$ 7,186,050 pesos

Que es un valor ligeramente superior al obtenido por factores. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el costo de ingeniería basado en estadísticas y que por consiguiente, refleja la historia de los costos reales que se han reportado en los proyectos, puede considerarse como más confiable.

El valor a considerar, dependería del uso que se le dé, por ejemplo si se trata de un concurso, puede convenir tomar el menor, el cual está apegado al estimado de H-H.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5.4.5.3 ESTIMADO DETALLADO

En el presente trabajo, se presenta un estimado parcial de las actividades de ingeniería que se tienen que realizar para planta de tratamiento de condensados.

Se ha hecho un estimado detallado de H-H para la especialidad de PROCESO, tanto en su participación en la etapa de Ingeniería Básica como en la de Ingeniería de Detalle. Los programas de trabajo se elaboraron con la aplicación del paquete de software "Microsoft Project" y no se presenta en este trabajo porque aquí se pretende ilustrar la coincidencia de los métodos de estimación. El resumen del estimado detallado de H-H es el siguiente:

H-H PROCESO ING. BÁSICA	1520
H-H PROCESO ING. DE DETALLE	520
TOTAL PROCESO	2,040

Por consiguiente:

$$2,040 \text{ H-H} * \$ 450.00 \text{ pesos / H-H} = \$ 918,000 \text{ pesos}$$

COSTO DE ING. DE PROCESO = \$ 918,000 pesos

Este costo es $\$ 918,000 \text{ pesos} * 100 / \$ 7,186,050 \text{ pesos} = 13 \%$ respecto al costo total de Ingeniería del estimado simplificado, que se asemeja mucho al 14 % que se obtiene de los valores estadísticos de la relación de Ingeniería de Proceso a la Ingeniería Total del mismo estimado simplificado (Ver tabla de H-H/Equipo).

5.4.3.5. COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA Y DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO

El estudio de costos presentado permite tomar mejores decisiones con relación al proyecto de la planta que se pretende instalar, ya que nos proporciona una idea clara del orden de inversión que se requiere.

Lo anterior, es un criterio importante para el encargado del proyecto, quien debe recordar que la Ingeniería de Costos tiene como objetivo registrar compromisos, proyectar el costo total para terminación y hacer las recomendaciones correctivas para que el proyecto salga en costo, lo cual es uno de los tres parámetros que conducen al éxito o fracaso de un proyecto: Calidad, tiempo y costo.

En situaciones tan críticas como la presentación de una propuesta durante un concurso se deben tomar en cuenta, con detalle, todos los elementos de costo de un proyecto; resulta conveniente tener en cuenta los estimados de los diferentes componentes de la inversión, para asegurar una gran efectividad en el uso de un costo definitivo para la planta y disminuir el riesgo del proyecto.

Debe también hacerse el estudio de los costos de operación, el cual puede ser manejado por el contratista según sea más conveniente. Por ejemplo, durante la preparación de una oferta para un proyecto "llave en mano", puede resultar más atractiva una oferta competitiva que tenga la menor inversión inicial y por consiguiente, la recuperación de la inversión, en estas circunstancias, puede tener una importancia secundaria. Sin embargo, desde el punto de vista del desarrollo sustentable, en el cual uno de los factores a considerar es el económico, el estudio de costos de operación debe hacerse para determinar el beneficio del proyecto, así como también la rentabilidad, mediante el cálculo del Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

En el presente trabajo primeramente, se ha estimado el beneficio del proyecto, mostrándose los resultados en la tabla de Beneficio-Costo de esta sección. Se ha calculado el costo total de operación anual de la planta de tratamiento de condensados mediante la suma de los costos de condensado recuperado, de costo de energía eléctrica, costo de consumo de químicos y costo de tratamiento de efluentes. Sumando estas componentes, se obtiene que para producir un condensado recuperado con las especificaciones requeridas en las calderas de alta presión de la refinera el costo total anual es de 1.279 MM de USD. En un esquema de proceso en el cual el condensado no se recupera, se tiene que tratar agua cruda para suministrar agua desmineralizada. El costo total anual por concepto de uso de agua desmineralizada es 2.284 MM de USD. La diferencia entre estos dos costos anuales es el beneficio total anual que resulta ser de 1.005 MM de USD. Del estudio de costos de la planta, la inversión total es de 6.256 MM de USD, lo cual significa que el período de recuperación de la inversión es de 6 años, contrariamente a lo que una opinión superficial podría establecer. Para llegar a una mejor evaluación económica del proyecto, se ha preparado el estudio de rentabilidad, que incluye la determinación del valor presente neto y la tasa interna de retorno para diez años.

**TABLA DE BENEFICIO -COSTO DEL PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE
CONDENSADOS EN LA REFINERÍA DE CADEREYTA, N. L.**

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR
COSTOS DE OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA		
CONDENSADO RECUPERADO		
COSTO UNITARIO DE CONDENSADO	\$/m3	0.25
CONSUMO DE CONDENSADO	m3/día	13,910
COSTO DE CONDENSADO	\$/día	3,478
ENERGÍA ELÉCTRICA		
POTENCIA CONSUMIDA	kW	3,182
ENERGÍA CONSUMIDA	kWh/día	76,368
COSTO UNITARIO	\$/kWh	0.3533
COSTO TOTAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	\$/día	26,981
CONSUMO DE QUÍMICOS		
ÁCIDO SULFÚRICO (98%)	kg/día	300
SOSA CÁUSTICA (50%)	kg/día	300
COSTO DIARIO DE QUÍMICOS		
ÁCIDO SULFÚRICO (98%)	\$/día	420
SOSA CÁUSTICA (50%)	\$/día	960
COSTO TOTAL DE QUÍMICOS	\$/día	1,380
TRATAMIENTO DE EFLUENTES		
EFLUENTES	m3/día	1,382
COSTO UNITARIO DEL TRAT. DE EFLUENTES	\$/m3	0.3
COSTO TOTAL DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES	\$/día	415
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DIARIO	\$/día	32,253
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN ANUAL	\$/año	11,772,314
COSTO DEL CONDENSADO TRATADO POR m3	\$/m3	2.6
COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	USD/m3	0.5
COSTO ANUAL DEL AGUA DESMINERALIZADA	USD/año	2,284,000
COSTO TOTAL DE OPERACIÓN ANUAL	USD/año	1,279,599
BENEFICIO ANUAL	USD/año	1,005,118
COSTO DE INVERSIÓN	USD	6,256,000
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	años	6.2

El período de recuperación de la inversión da una idea preliminar de lo atractivo del proyecto, este período se obtiene porque los costos de operación para la desmineralización de los condensados, son más bajos que los de desmineralización de un agua cruda proveniente de un cuerpo natural de agua, lo que ocurre particularmente en la Refinería de Cadereyta, en la que actualmente el costo del agua desmineralizada es muy alto porque se obtiene a partir de los propios efluentes de la Refinería y de las aguas negras tratadas provenientes de la Planta de San Rafael.

Los condensados recuperados son aguas relativamente libres de contaminantes y la desmineralización se aplica prácticamente como un pulido, las frecuencias de regeneración de las resinas son bajas y por consiguiente también el consumo de químicos y la generación de efluentes neutralizados, los cuales finalmente pueden enviarse para su ulterior tratamiento a la Planta de Uso Integral del Agua para la eliminación de sólidos disueltos, que sería el principal contaminante de este efluente.

De lo anterior, puede verse claramente el sentido que hace la recuperación y tratamiento de los condensados, sobre todo en relación con el aspecto económico, porque normalmente se piensa que un proyecto ecológico no se justifica económicamente. Más adelante, con el valor presente y la tasa de retorno se verá con más detalle el aspecto económico del proyecto.

El impacto del proyecto en el consumo de agua de la Refinería puede visualizarse de la siguiente manera: La capacidad total de tratamiento de la Planta de Uso Integral existente es de 360 l/s, el condensado recuperado es nada menos que, 161 l/s, que representa el 44 % del agua tratada exteriormente a la Refinería. El impacto en el consumo global de agua de la refinería, como puede verse, es muy significativo.

5.4.3.6. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Se ha preparado la siguiente tabla que exhibe los flujos de efectivo para diez años.

AÑO	CONCEPTO	US DLS
1	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
2	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
3	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
4	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
5	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518

AÑO	CONCEPTO	US DLS
6	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
7	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
8	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
9	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518
10	COSTO DEL AGUA DESMINERALIZADA	2,284,000
	COSTO DE OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO	1,279,599
	BENEFICIO	1,005,118
	DEPRECIACIÓN	262,400
	FLUJO NETO TOTAL	1,267,518

El cálculo del valor presente se basa en la aplicación de los flujos netos totales y el costo de inversión, en la ecuación siguiente, considerando un costo de oportunidad del 20 %:

$$VPN = \sum F_j / (1+i)^j$$

$$\begin{aligned} VPN &= -6,256,000/1.2^0 + 1,267,518/1.2^1 + 1,267,518/1.2^2 + \\ &1,267,518/1.2^3 + 1,267,518/1.2^4 + 1,267,518/1.2^5 + 1,267,518/1.2^6 + \\ &1,267,518/1.2^7 + 1,267,518/1.2^8 + 1,267,518/1.2^9 + 1,267,518/1.2^{10} = \\ &= -941,966 \end{aligned}$$

Para una $i = 0.2$, el valor presente neto resulta negativo, lo cual indica que para este costo de oportunidad, el proyecto no resulta necesariamente atractivo. Se debe recordar que la interpretación del valor presente es relativa y solamente sirve de guía para comparar el proyecto en cuestión con respecto a otros proyectos.

La tasa interna de retorno (TIR), es la i para la cual el valor presente neto resulta cero, por lo que sustituyendo valores en la misma ecuación, se obtiene la TIR mediante un proceso iterativo:

$$\begin{aligned} VPN &= -6,256,000/(1+i)^0 + 1,267,518/(1+i)^1 + 1,267,518/(1+i)^2 + \\ &1,267,518/(1+i)^3 + 1,267,518/(1+i)^4 + 1,267,518/(1+i)^5 + \\ &1,267,518/(1+i)^6 + 1,267,518/(1+i)^7 + 1,267,518/(1+i)^8 + \\ &1,267,518/(1+i)^9 + 1,267,518/(1+i)^{10} = 0 \end{aligned}$$

De donde resulta que la TIR = 0.155 = 15.5 %

De lo anterior se desprende que si en el caso particular de la Refinería de Cadereyta, se logra trabajar con un financiamiento que esté por debajo de este valor, el proyecto resultaría económicamente atractivo. Con este valor de TIR y VPN, se concluye que el proyecto de recuperación de condensados resulta mejor, al comparar contra otros proyectos posibles dentro de la refinería que tengan TIR < 15.5 %.

CAPÍTULO 5

5.5 IMPACTO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

5.5 IMPACTO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LOS PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

Uno de los principales hallazgos del presente trabajo es que se tienen dos tipos de impacto. Uno de ellos es de orden conceptual y estratégico y consiste precisamente en que la comprensión del concepto ampliado de desarrollo sustentable, trae como consecuencia un beneficio para el correcto planteamiento y ejecución de los proyectos de recuperación de condensados en las refinerías. El segundo hallazgo es que los proyectos de este tipo, por su naturaleza misma, impactan grandemente en los seis aspectos considerados como esenciales para lograr el desarrollo sustentable de la sociedad.

En cuanto al efecto del desarrollo sustentable en los proyectos de recuperación de condensados se ha encontrado que hasta la actualidad, la administración de este tipo de proyectos presenta una ausencia de base sobre la cual descansar su justificación.

Asimismo, sin esta base es imposible diseñar una planeación consistente, que incluya objetivos de largo plazo y que se constituya en el motor estratégico de las nuevas plantas de condensados en las refinerías.

En la actualidad, en la refinería de Cadereyta, N.L., se ha llegado a una conciencia notable en cuanto a los efectos ecológicos de la recuperación de agua, sobre todo, por la planta de uso integral del agua, basada en el concepto de descarga cero.

Sin embargo, la recuperación de condensados tiene características intrínsecas que conducen a darle un enfoque que contemple los aspectos ecológicos, económicos, energéticos, sociales, legales y de recursos naturales para darle una personalidad propia, e independencia que evite los obstáculos derivados de pretender

enmarcarlos como parte del uso integral del agua o como parte de proyectos de traslado de plantas o reconfiguración de la refinería.

El concepto que será la base de la administración de los mencionados proyectos, no sólo para la Refinería de Cadereyta, sino para las refinerías de nuestro país, en general, es el de desarrollo sustentable, tal como se detalla en el diagrama 5.1.1, relativo a la administración del proyecto de tratamiento y reutilización de condensados en refinerías, en el que se muestra la estrategia a seguir, tomando en consideración los conocimientos manejados en el presente trabajo.

CAPÍTULO 5

5.6 IMPACTO DEL PROYECTO EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE

5.6 IMPACTO DEL PROYECTO EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE

5.6.1 IMPACTO ECONÓMICO

Como puede observarse en la tabla de Beneficio-Costo del proyecto de la sección 5.4.3.5, para producir un condensado recuperado con las especificaciones requeridas en las calderas de alta presión de la refinería reporta un costo total anual de **1.279 MM de USD**, el cual ya considera el costo del condensado a tratar, el costo de la energía eléctrica consumida, el costo de químico y el costo de tratamiento de efluentes; mientras que si este condensado no se recupera el costo total anual por concepto de uso de agua desmineralizada es **2.284 MM de USD**, lo cual nos reporta un beneficio total anual de **1.005 MM de USD**. Del estudio de costos de la planta, la inversión total es de **6.256 MM de USD**, lo cual significa que el período de recuperación de la inversión (PRI) es de 6 años, lo que justificaría económicamente el proyecto.

El PRI es una idea preliminar de lo atractivo del proyecto y por esta razón, ha sido complementado con la determinación del valor presente neto y la tasa interna de retorno. El VPN < 0, calculado en la sección 5.4.3.6 nos demuestra, que para un costo de oportunidad $i = 0.2$, el proyecto no resultaría económicamente atractivo. Sin embargo, esta conclusión es relativa, en virtud de que la TIR = 15.5 % nos dice que el proyecto de recuperación de condensados puede ser económicamente viable si se compara contra otros proyectos posibles dentro de la refinería que tengan TIR menor a este valor. Igualmente, si logra conseguirse un financiamiento con $i < 0.155$, el proyecto quedaría debidamente justificado.

5.6.2 IMPACTO ECOLÓGICO

Ningún ecosistema puede mantener su equilibrio sin la correcta conservación de su flora, fauna y sus recursos acuíferos. Por esta razón es básico que toda industria que afecte lo menos posible al ecosistema estará a favor del equilibrio ecológico.

La recuperación de condensados limpios y aceitosos es lateral al concepto de descarga cero, porque se refiere al tratamiento de corrientes internas de la refinería y se puede considerar como un complemento a la planta de uso integral del agua.

Dada la escasez de agua en Cadereyta, el principal efecto ecológico de la recuperación de condensados es que se evita el uso de agua proveniente de fuentes naturales, como el Río Ramos. El mantenimiento y protección de estos acuíferos naturales son de un beneficio radical para el mantenimiento del equilibrio ecológico.

Por otro lado se deja de emitir un efluente con ciertos niveles de contaminantes y sobre todo de alta temperatura, que al descargarse a cuerpos naturales que afectan grandemente al ecosistema. El cumplimiento con la normatividad vigente implicaría un costo adicional para la disposición de estos efluentes previo tratamiento.

5.6.3 IMPACTO ENERGÉTICO

El alto costo que conlleva la producción de energía eléctrica está determinado principalmente por los costos de producción de agua desmineralizada como alimentación a las calderas de alta presión de la planta de fuerza de la refinería.

La reutilización del condensado tiene la ventaja intrínseca de disminuir el consumo de energía eléctrica por concepto de tratar

mayor cantidad de agua mediante desmineralización, partiendo de un agua cruda que obviamente requeriría de operaciones de pretratamiento antes de la desmineralización propiamente dichas.

Esto se refleja en el hecho de que el costo por m³ de condensado sería de 2.6 pesos/m³, en tanto que el costo de agua desmineralizada que se maneja en la refinería es de 4.8 pesos/m³. Esto representa el ahorro energético expresado en pesos por metro cúbico.

5.6.4 IMPACTO SOCIAL

El dejar de consumir 161 l/s, que representan el 44 % del agua tratada exteriormente a la Refinería en la Planta de Uso Integral produce automáticamente el beneficio social de que esta agua deja de consumirse a partir de cuerpos naturales como el Río Ramos, pudiendo destinarse para actividades humanas tales como el riego o la obtención de agua potable para la comunidad.

El agua cruda que proviene del río Ramos y de pozos, se utilizará exclusivamente para consumo humano en la colonia PEMEX, baños y vestidores de la refinería y para irrigación.

5.6.5 IMPACTO LEGAL

Por el hecho de no descargar los condensados, contaminados principalmente con grasas y aceites y por la alta temperatura de descarga que se tendría en caso de descargarse al Río Ayancual, lugar destinado para disposición final de los efluentes de la refinería, se tendría la ventaja de que ya no se tendría siquiera que cumplir con la normatividad vigente porque la recuperación de condensados evita la descarga de los mismos, mediante su tratamiento para enviarse nuevamente como alimentación de calderas de alta presión.

Lo anterior impacta en que ya no se tiene que manifestar este efluente y se evita el tener que hacer un tratamiento para cumplir e incluso pagar por los derechos de descarga.

5.6.6 IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES

En cuanto a las refinerías en general, la búsqueda de soluciones ecológicas produjo, como se dijo en la sección 5.1, que a principios de los noventa se dio inicio a los trabajos de rescate de los recursos acuíferos asociados a las refinerías del país. Se procedió a rescatar la cuenca hidrológica de Lerma-Chapala Santiago, mediante la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de Salamanca, luego se retomó el concepto de "Descarga Cero" y se aplicó en la Refinería de Cadereyta, como Proyecto de uso Integral del Agua asignado oficialmente en 1995. Después, siguió Cd. Madero en abril de 1998. El mismo esquema se seguirá con las plantas de las refinerías de Minatitlán, Tula y Salina Cruz.

Con los 360 l/s que se tratan en la planta de uso integral más los 161 l/s de condensado recuperado se tiene un impacto global de 521 l/s de agua que deja de extraerse de acuíferos naturales, tales como el Río Ramos y de pozos; protegiendo de esta manera el recurso acuoso tan importante en el desarrollo de Nuevo León.

5.6.7 USO INTEGRAL DEL AGUA Y DESARROLLO SUSTENTABLE

La forma que adquiere la aplicación del concepto de desarrollo sustentable en los proyectos que tienen que ver con la administración de los recursos escasos, tales como el agua en una refinería, es lo que conocemos como "descarga cero", que en el caso muy particular de la Refinería de Cadereyta le llamamos "Uso Integral del Agua".

Los lineamientos generales en los que se fundamenta el Proyecto de Uso Integral del Agua en la Refinería de Cadereyta contemplan los siguientes puntos:

- Cumplir con las normas fijadas en materia de calidad del agua descargada a los cuerpos receptores.
- Reducir al mínimo el consumo de agua cruda proveniente del río Ramos y de pozos.
- Maximizar el reuso de agua de la Refinería, utilizando como fuente original de abastecimiento de agua el efluente tratado de la Refinería y el agua residual tratada, proveniente de la Planta de San Rafael.
- El agua tratada en la Planta de San Rafael se utiliza para la generación de vapor, proceso, riego de áreas verdes y reposición a torres de enfriamiento.
- El uso del agua, dentro de la Refinería, seguirá destinándose a circuitos de enfriamiento, generación de vapor y proceso.
- Aproximadamente el 62% del agua para plantas futuras se utilizará para generación de vapor y proceso, mientras que el 38% se aplicará a los circuitos de enfriamiento.
- El problema principal, para cumplir con la normatividad, acerca de la calidad de agua residual que se descarga al arroyo Ayancual, es el contenido de sales presentes en el efluente.
- Las aguas negras tratadas provenientes de la Planta de San Rafael, reciben un tratamiento biológico para eliminar los sólidos suspendidos, grasas, aceites, sulfuros, DBO y DQO, nitrógeno amoniacal, fosfatos y colonias de coliformes hasta alcanzar los límites deseados; para después retornar el agua tratada a la refinería para su uso como agua de servicios y contra incendio.

- El agua de proceso y de reposición a torres de enfriamiento recibe un tratamiento avanzado consistente en:

- ⇒ Tratamiento químico (con cal-carbonato)
- ⇒ Recarbonatación con CO_2
- ⇒ Filtración Multimedia

El tratamiento químico se realizará en clarifloculadores de contacto de sólidos, en los cuales se suaviza el agua. La suavización se realiza hasta un nivel adecuado para su alimentación a torres de enfriamiento, lo cual permite operarias hasta con 6 ciclos de concentración. Aumentar los ciclos de concentración conduce a un ahorro de agua de reposición y, a la disminución de purgas de torres.

- Las purgas de torres de enfriamiento, así como los efluentes neutralizados de desmineralización, se envían a un tanque de igualación, de donde se transfieren al sistema de tratamiento por Ósmosis Inversa. De la ósmosis inversa se obtiene el agua con la calidad necesaria para alimentarse a las unidades desmineralizadoras para obtener agua para calderas.
- Se cuenta con sistemas de Evaporación-Cristalización para tratar los rechazos de ósmosis inversa y lograr así la descarga cero.

5.6.8 RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS COMO COMPLEMENTO DEL USO INTEGRAL DEL AGUA

En el capítulo 4 se presentó un diagrama de la evolución del uso integral del agua en refinerías. En este diagrama se puede apreciar que en el momento actual se tiene una definición muy avanzada del uso integral del agua, lo cual significa cierta comprensión del desarrollo sustentable, ya que implica disminución de efluentes a cuerpos naturales de agua (ecología), reducción de altos costos futuros por concepto de agua de alimentación (economía),

obviamente esto impacta directamente al costo de producción de la electricidad (energía) dentro de la refinería cuyo principal insumo es el agua desmineralizada.

La trayectoria que ha seguido el desarrollo sustentable en las refinerías ha resultado muy positivo. Sin embargo, se ha obviado el reuso de los condensados limpio y aceitoso provenientes de las áreas de proceso y fuerza de la refinería.

Debe recordarse que en la actualidad está en marcha la instalación de 19 plantas más, las cuales generarán más condensado y las instalaciones existentes de tratamiento son obsoletas.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1. El concepto de desarrollo sustentable tiene un gran impacto en la toma de decisiones durante el origen y desarrollo de un proyecto de ingeniería en general.**
- 2. El desarrollo sustentable es un concepto amplio, que involucra el conocimiento de los aspectos económicos, energéticos y ecológicos; además de los aspectos de recursos naturales, sociales y legales que conforman el marco de referencia de un proyecto. Esto implica la optimización integral de todos los recursos, contribución indefectible al desarrollo de las empresas y de las sociedades.**
- 3. Se ha incrementado el dinamismo tecnológico para lograr el tratamiento efectivo de los efluentes líquidos y gaseosos en las plantas de proceso químico, gracias a que la legislación ambiental es más estricta en cuanto a los niveles permisibles en las descargas a la atmósfera y a los cuerpos naturales de agua, lo cual ha llevado al concepto de la llamada "Descarga Cero", que significa tecnologías de tratamiento terminal, también llamadas de "End of Pipe", en las que la preocupación principal es hacer el tratamiento para lograr la recirculación de los efluentes para reutilizarlas en alguna parte del proceso.**
- 4. Durante la década de los noventa se presentó un creciente interés por las llamadas tecnologías limpias, en aras de satisfacer la preocupación por la protección del ambiente, es decir, mantener el equilibrio de los ecosistemas, siendo esto congruente con el concepto de desarrollo sustentable pero no se consideraban los aspectos energéticos y económicos.**
- 5. El concepto de desarrollo sustentable debe ser la esencia de un proyecto IPC y los proyectos de recuperación de agua para su reutilización constituyen un ejemplo preponderante y muy ilustrativo de la aplicación del concepto a un caso particular.**

6. El modelo de ejecución de este tipo de proyectos debe ser el de Diseñado, Construido y Adquirido, a través de un concurso, ya que el negocio de PEMEX no es el agua. Debe hacerse una selección de la empresa que ejecutará el proyecto, para evitar errores millonarios.
7. En cuanto al aspecto económico, se evaluó para la Refinería de Cadereyta un beneficio total anual de 1.005 MM de USD y con costo de inversión total de 6.256 MM de USD, lo cual en forma preliminar, significa que el tratamiento de condensados es un proyecto económicamente atractivo.
8. El PRI se complementó con la determinación del valor presente neto y la tasa interna de retorno. El $VPN < 0$, para un costo de oportunidad $i = 0.2$, muestra que el proyecto no resultaría económicamente atractivo. Esta conclusión es relativa, en virtud de que la $TIR = 15.5\%$ nos dice que el proyecto de recuperación de condensados puede justificarse si se compara contra otros proyectos que tengan TIR menor a este valor. Igualmente, si logra conseguirse un financiamiento con $i < 0.155$, el proyecto quedaría debidamente justificado.
9. Desde el punto de vista ecológico, la recuperación de condensados limpios y aceitosos es un complemento a la planta de uso integral del agua, cuyo principal efecto ecológico, dada la escasez de agua en Cadereyta, es evitar el uso de agua proveniente del Río Ramos y la contaminación del Río Ayancual. La protección de estos acuíferos naturales son de un beneficio radical para el mantenimiento del equilibrio ecológico.
10. La reutilización del condensado tiene la ventaja intrínseca de disminuir el consumo de energía eléctrica por disminuir la capacidad de desmineralización.
11. El beneficio social, es que el agua del Río Ramos, puede destinarse a actividades humanas tales como el riego o la obtención de agua potable para la comunidad.
12. La no descarga de condensados, contaminados principalmente con grasas y aceites y por su alta temperatura de descarga al Río Ayancual, evita tener problemas para cumplir con la

normatividad vigente. Así, ya no se tiene que manifestar este efluente y se evita el tener que hacer un tratamiento para cumplir e incluso pagar por los derechos de descarga.

13. Con los 360 l/s que se tratan en la planta de uso integral más los 161 l/s de condensado recuperado se tiene un impacto global de 521 l/s de agua que deja de extraerse de acuíferos naturales, tales como el Río Ramos y de pozos; protegiendo de esta manera el recurso acuoso tan importante en el desarrollo de Nuevo León.

CAPITULO 7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS DE CONSULTA

RAMALHO, R.S. Introduction to Wastewater Treatment Processes. 2nd. Ed. London, Academic Press Inc., 1991.

BETZ, Handbook of Water Conditioning. 7 th. ed. Trevese, Betz Laboratories Inc., 1976.

DURAN, Ma. del Carmen. Reaprovechamiento de Residuos Líquidos usando Sistemas Biológicos. México, Fac. De Química, UNAM. 1988 (Como parte del material didáctico del curso de Biotecnología del 21 al 25 de nov. de 1988).

ECKENFELDER W. W. Jr. Industrial Water Pollution Control. 2 nd ed. U.S.A, Mc Graw-Hill Int. Ed., 1989.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. U.S.A. APHA, AWWA, WPCF. 19 th ed. 1995.

FAIR, Gordon M. y Geyer J.Ch. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Mexico, LIMUSA, 1988.

SHEPARD, T. P. Manual de Agua para Usos Industriales. 1^a. Ed. México, Ediciones Ciencia y Técnica, S.A., 1988. 4 Vols.

KEMMER, Frank N. Manual de Agua. México, Mc Graw-Hill, 1989.

METCALF & Eddy. Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse. 3 rd. Ed. U.S.A., Mc Graw-Hill International Editions, 1991.

DEGREMONT. Water Treatment Handbook. 6th. U.S.A., Degremont., 2 Vol., 1991.

CNA. Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.

STEEL, E.W. and Mc Ghee T.J. Water Supply and Sewerage. 5th ed. Auckland, Mc Graw-Hill, 1979.

SCHROEDER, Water and Wastewater Treatment. U.S.A. Mc Graw-Hill, 1985.

ARTÍCULOS

BOLETÍN MONITEC. La Regulación Ambiental en México y el Mundo. Publicado por la GIST de PEMEX-REFINACIÓN. Vol. 4, Núm. 7, Oct., 1997.

WILLARD, J. How to Evaluate Environmental Software. Hydrocarbon Processing, Sept., 1997, pp. 69-72.

JACKSON, S.L. ISO 14000 : What You Need to Know. Hydrocarbon Processing, April, 1997, pp.133-137.

HP IMPACT. U.S. HPI Reacts to EPA's Revised Pollutant Limits Recommendations. Hydrocarbon Processing, Jan., 1997. Pag. 29.

VIVONA, M.A. and Delany T.P. Use Enhanced Coatings to Safeguard Wastewater Systems. Hydrocarbon Processing, Dec., 1996, pp. 93-98.

THURMAN, J. Do You Manage Your Environmental Risks Effectively ?. Hydrocarbon Processing, Dec., 1996, pp. 99-100.

Environmental Technology Index 1996. Hydrocarbon Processing, August, 1996, pp. 124-130.

Environmental Processes 1996. Hydrocarbon Processing, August, 1996, pp.109-123.

HP IMPACT. Reduced Waste Streams Can Generate Profits. Hydrocarbon Processing, June, 1996, pag. 27

OOLMAN, T. And Baker, R.R. Refinery Uses Bioslurry Process to Treat RCRA Wastes. Hydrocarbon Processing, April, 1996, 71-76.

GROSSO, Jorge L., y Díaz María P. Biodegradación de Fenoles en Aguas Residuales de la Industria Petrolera. Revista CODICID, Junio de 1997, pp. 13-22.

VIVONA, M.A. Design an Effective Storm Water Pollution Prevention Plan. Hydrocarbon Processing, August, 1995, pp. 95-109.

GUIDA, J.W. and Fruge D.E. Improve Wastewater Treatment. Hydrocarbon Processing, August, 1995, pp. 55-60.

BROWN, R.A. and Cartwright R.T. Biotreat Sludges and Soils. Hydrocarbon Processing, Oct., 1990, pp. 93-96.

Environmental Technologies : Solutions for the Future. Hydrocarbon Processing, August, 1995, pp. 111-120.

TAMBURRANO, F. Disposal of Heavy Oil Residues, Part I. Hydrocarbon Processing, Sept., 1994, pp. 79-84.

TAMBURRANO, F. Disposal of Heavy Oil Residues, Part II. Hydrocarbon Processing, Sept., 1994, pp. 77-88.

HODEL, A. E. Jet Mixers Strengthen Reliability of Wastewater Treatment Plant. Chemical Processing, July, 1991, pag. 31.

EARLY, W.F. and Eidson M.A.. Design for Zero Releases. Hydrocarbon Processing, August, 1990,. pp. 47-49.

HUBER, L.J. Waste Water Treatment at the Wacker Chemie Chemical-Petrochemical Plant, Burghausen, F.R.G. Wat. Sci. Tech. Vol. 20, No. 10, 1989, pp. 13-19.

STENSTROM, M.K. and Cardinal Lynne. Treatment of Hazardous Substances in Wastewater Treatment Plants. Environmental Progress, Vol. 8, No. 2, May, 1989, pp. 107-112.

STOVER, E.L.. Coproduced Ground Water Treatment and Disposal Options During Hydrocarbon Recovery Operations. GWMR, Winter 1989, pp. 75-82.

ANGOUSTINOS, M.T. and Britz T.J.. Anaerobic Digestion of a Petrochemical Effluent Using an Anaerobic Hybrid Digester. Biotechnology Letters, March, 1989, Vol. 11, No. 5, pp. 369-374.

ECKENFELDER, W.W, Jr. Treatment of Petrochemical Wastewaters-The State of the Art. Water Sci. Tech. Vol. 20 No. 10, 1989, pp. 1-12.

ARIAMALAR, s. And Hsin-Neng. Competitive Adsorption of Organic Compounds By Microbial Biomass. J. Environ. Sci. Health, pp. 729-744, 1988.

ECKENFELDER, W.W, Jr. Process Selection Criteria for the Biological Treatment of Industrial Wastewaters. Env. Progress, Vol. 8, No. 1, Feb., 1989, pp. 40-45.

SEIFERT, J.A., Selecting Thickeners and Clarifiers. Chem. Eng. Oct. 12, 1987, pp.111-118.

GALIL, N., Rebhun, M. Disturbances and Inhibition in Biological Treatment of Wastewater from an Integrated Refinery. Water. Sci. Tech., Vol. 20, No. 10, pp. 21-29, 1988.

HEREDIA, Durán M. Tecnología Moderna para el Tratamiento de Aguas Residuales. Ingeniería Hidráulica en México, Sep-Dic. 1985, pp. 13-20.

HOLIDAY, A.D., Conserving and Reusing Water. Chem. Eng., April 19, 1982, pp. 118-137.

GONZÁLEZ, J. y Roch I. Cómo Abordar el Tratamiento de Efluentes Petroquímicos. Petróleo Internacional, Nov., 1980, pp. 94-103.

MIRANDA, J.G., Designing Parallel-Plates Separators. Chem. Eng., January 31, 1977, pp. 105-107.

MISHRA, P.N. Application of Optimization Techniques in Computer Aided Design of Wastewater Treatment Systems. AIChE Symposium Series, 1974, pp. 136-152.

PRAHALAD, C.K. The Role of Core Competencies in the Corporation. Research Technology Management, nov.-dic., 1993, pp. 41-47.

DEL RÍO, S.R. Tecnología y Desarrollo Sustentable. Nuevo Paradigma. Monterrey, N.L., México, oct. 2-4, 1996. XXXVI Convención Nacional IMIQ, pp.1-9.

PRAHALAD, C.K. and Hamel Gary. The Core Competence of the Corporation. Harvard Business Review, May-June, 1990, pp. 79-91.

UENOHARA, Michiyuki. A management View of Japanese Corporate R & D. Research Technology Management, nov.-dic., 1991, pp. 17-22.

DEL RÍO, S.R. Towards an Integral and Dynamic Framework for Technology and R & D Strategies. Revista del IMIQ, Sep.-Oct., 1996, pp. 23-30.

WOMACK, J.P. and Jones D.T. From Lean Production to the Lean Enterprise. Harvard Business Review. March-April, 1994, pp. 93-