

00568



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

**"Evaluación y Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Municipal
para Alimentación a Calderas en el Esquema del Desarrollo Sustentable"**

T E S I S
Que para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería

P r e s e n t a
Cresenciano Echavarrieta Albiter

Director de Tesis: Prof. José Antonio Ortiz Ramírez



2005

m345067



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Comité Académico

Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM

Fecha: 19.01.2005

Presente

Por este conducto, y con base en el artículo 19 del RGE, solicito la integración del jurado para la presentación de mi examen de grado que, de acuerdo a mi tutor principal y/o comité tutorial, podría estar conformado por los miembros aquí propuestos.

Alumno: *Echavarrieta Albiter Crescenciano*

Número de Cuenta:

Plan de Estudios: 05-4053

C. de Conocimiento: *Ing. de Sistemas*

C. Disciplinario: *Ingeniería y admon. de proyectos*

Semestre de Ingreso: 2004-1

Fecha de Nac. :

Jurado Grado - Nombre

Entidad Académica o Institución

Presidente: M. en I. Alejandro Anaya Durand

• Facultad de Química, UNAM

Secretario: Dr. Alfonso Duran Moreno

• Facultad de Química, UNAM

Vocal: M. en C. Leticia Lozano Ríos

• Facultad de Química, UNAM

Jer. Suplente: Dr. Víctor M. Luna Pabello

• Facultad de Química, UNAM

2do. Suplente: M. en C. Jorge Luis Aguilar González

• Facultad de Química, UNAM

Título de la Tesis: EVALUACION Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA MUNICIPAL PARA ALIMENTACION A CALDERAS EN EL ESQUEMA DEL DESARROLLO SUSTENTABLE.

Atentamente

Vo. Bo. del Tutor Principal

Firma del Alumno

José Antonio Ortiz Ramírez

Teléfono(s):

Correo Electrónico: *Echavarrieta@prodigy.net.mx*

Para ser llenado por el SACC.

Se recomienda su aprobación: ☐ SI ☐ NO

Observaciones y/o modificaciones:

* Se anexa al presente, el documento original solicitado por el alumno.

Nombre y Firma del Presidente del SACC

Fecha: _____

Para ser llenado por el Coordinador del Programa.

Aprobado: ☒ SI ☐ NO

Observaciones y/o modificaciones:

Dr. Wilfrido Rivera Gómez Franco
Coordinador del Programa

04 de Febrero 2005
Fecha de aprobación del CA

NOTA: en caso de requerir más, espacio en algún rubro, anexar hojas con la información

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: *Echavarrieta*

FECHA: *4/2/05*
FIRMA: *[Firma]*

Dedicatorias:

A mis padres: Juan^r y Romana, por sus sacrificios ofrecidos en mi bienestar.

A mis hijos: Lisseth y Daniel, pequeños, pero grandes impulsores de mis proyectos.

A mi esposa Yolanda Nochebuena, por el gran apoyo, amor y motivación que me ha dado a lo largo de estos años.

Agradecimientos:

A CONACYT, por el apoyo económico brindado durante mis estudios.

A la UNAM, por reabrirme sus puertas a más y nuevos conocimientos.

Al Dr. Julio Landgrave Romero¹, por su asesoría, consejos y regaños.

Agradecimientos:

Al Ing. Federico Padilla Sierra, por su valiosa y desinteresada ayuda en la elaboración de este trabajo, gracias nuevamente.

Al Prof. José Antonio Ortiz, por su paciencia, dedicación e incondicional apoyo brindado en el cierre de esta tesis, al tan gentilmente aceptar terminar de dirigirla.

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron en la elaboración de este trabajo.

Contenido

	Página
Resumen	VI
Justificación del Tema	VII
Objetivos e Hipótesis	IX
Introducción	1
Capítulo 1 Desarrollo Sustentable	
1.1 Origen y evolución del concepto	3
1.2 Agua, Industria y desarrollo sustentable	7
1.2.1 Efectos sobre la salud	9
1.2.2 Programa de modernización del manejo de agua	9
1.2.3 Participación de la iniciativa privada	10
1.2.4 Situación mundial del agua	11
1.2.5 Situación del agua en México	11
1.2.6 Población de México y otros países	13
1.2.7 Ciclo de vida	14
Capítulo 2 Agua e Industria	
2.1 Consumo de agua en la Industria	17
2.2 Numero y tipos de industria	17
2.3 Calidad del agua requerida para diversos usos	18
2.4 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales	19
2.5 Agua residual, usos y características	22
2.5.1 Características biológicas	23
2.5.2 Características químicas del agua	23
2.5.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno	23
2.5.2.2 Demanda química de oxígeno	24
2.5.2.3 Sabor y olor	25
2.6 Beneficios de usar el agua municipal en México	25
2.6.1 Sector Industrial	26
2.6.2 Beneficios sociales	26
2.7 Condiciones a futuro	27
Capítulo 3 Normatividad	
3.1 Ley Federal de Aguas	29
3.2 Normas Oficiales Mexicanas	31
3.2.1 Normas Oficiales Mexicanas Ecológicas	31
3.2.2 Normas Oficiales Mexicanas del Sector Agua	31
3.2.3 Normas Oficiales Mexicanas del sector Salud	31
3.3 Normatividad de descarga de aguas residuales	32
3.4 Protección de mantos acuíferos	32
Capítulo 4 Precios del agua	
4.1 Precios de agua tratada municipal	33
4.2 Derechos por descarga de aguas residuales a cuerpos receptores	33
4.3 Tarifas del agua en México	34

Capítulo 5 Tecnologías en tratamiento de aguas municipales para alimentación a calderas.	Página
5.1. Esquema general de tratamiento de aguas negras	36
5.1.1. Aeración en tratamientos de aguas de residuales	37
5.1.2 Tratamiento biológico aerobio	38
5.1.3 Tratamiento anaerobio	38
5.1.4 Coagulación	39
5.1.5 Filtración	39
5.2 Estado del arte en tratamiento de aguas residuales municipales	40
5.2.1 Intercambio iónico	40
5.2.1.1 Resinas de intercambio iónico	40
5.2.1.2 Resinas catiónicas	40
5.2.1.3 Resinas aniónicas	40
5.2.1.4 Materia orgánica y su influencia en las resinas	41
5.2.1.5 Tecnología de regeneración de intercambio iónico	42
5.2.1.6 Cationes precursores de sales poco solubles	44
5.2.2 Ósmosis Inversa	44
5.2.2.1 Ósmosis inversa de alto pH	44
5.2.2.2 Beneficios de la ósmosis inversa de alta eficiencia	45
5.2.2.3 Sílice	46
5.2.3 Desinfección	47
5.2.3.1 Luz Ultravioleta	47
5.2.3.2 Coloración	48
5.2.3.3 Ozono	48
5.3 Principales usos del agua tratada en la Industria	48
5.3.1 Agua contraincendio	48
5.3.2 Agua para calderas	48
5.3.3 Agua para enfriamiento	49
5.3.4 Agua de proceso	50
 Capítulo 6 Selección de la tecnología más adecuada para un caso de estudio	
6.1 Desarrollo y diseño de un proceso	51
6.2 Propuesta de reuso de agua tratada en la industria química	51
6.2.1 Bases de diseño	52
6.2.2 Pretratamiento	53
6.2.3 Diagramas de flujo de proceso	55
6.3 Evaluación cualitativa de opciones	59
6.4 Características de efluentes salinos	62
 Capítulo 7 Evaluación Económica	
7.1 Métodos utilizados	63
7.2 Evaluación económica	64
 8.- Conclusiones y recomendaciones	77
 Bibliografía	79
 Anexos	
Anexo 1	
Dimensionamiento de las unidades desmineralizadoras	82

Alternativa I
Alternativa II
Alternativa III

Anexo 2	
Alternativa I	112
Lista de Equipo y Costos Estimados	
Memoria de Monto de Inversión	
Análisis de Consumo Eléctrico	
Anexo 3	
Alternativa II	123
Lista de Equipo y Costos Estimados	
Memoria de Monto de Inversión	
Análisis de Consumo Eléctrico	
Anexo 4	
Alternativa III	136
Lista de Equipo y Costos Estimados	
Memoria de Monto de Inversión	
Análisis de Consumo Eléctrico	
Anexo 5	
Diagramas de tubería e instrumentación	150

Resumen

Esta tesis se enfoca a dar una solución al problema de escasez del agua en México, aprovechando el agua residual tratada por el municipio en el sector industria y con ello liberar agua fresca para consumo humano. El objetivo de este trabajo de investigación es proponer la estrategia del reuso de agua municipal tratada en la industria, evaluando varias alternativas de tratamiento posibles, en la producción continua de agua desmineralizada para alimentación a calderas en la industria química y considerar su factibilidad en el contexto del desarrollo sustentable de la zona.

En el primer capítulo se aborda la problemática que dio origen al concepto de desarrollo sustentable, se observan la situación mundial y nacional del agua y la influencia del factor demográfico en la misma. En el segundo capítulo, se revisan las calidades del agua necesarias para reuso, así como también las características de las aguas residuales tratadas, los beneficios de reusar estas, el número de industrias por estado como posibles usuarias del agua residual tratada y la situación del agua a futuro.

En el tercer capítulo, se comenta la normatividad vigente con relación al agua, en el cuarto capítulo se hace un análisis en torno a los precios y tarifas del insumo.

En el capítulo quinto, se expone un esquema general de tecnologías tradicionales usadas en el tratamiento de agua residual, se abordan las tecnologías de intercambio iónico, donde se exponen los últimos avances en investigación de la misma, así como también la tecnología de osmosis inversa, y los tópicos de desinfección de agua residual tratada. En el sexto capítulo se presentan y evalúan técnicamente tres alternativas de proceso posibles, para acondicionamiento del agua municipal tratada para ser usada en alimentación a calderas, favoreciendo el desarrollo sustentable. En séptimo y último capítulo se hace un análisis económicos de las tres alternativas presentadas en este trabajo.

Se concluye, que el reuso de agua municipal tratada para alimentación a calderas es viable y que implementado en zonas donde la escasez es más marcada, como puede ser la zona norte o centro del país, hacen aun más favorable el desarrollo económico de la zona. De las tres alternativas tecnológicas planteadas en este trabajo, todas con una capacidad de 88 L/s; 1) intercambio iónico, 2) combinación de intercambio iónico con ósmosis inversa y 3) ósmosis inversa de alto pH con intercambio iónico; la primer opción requiere de una inversión de \$3,951,200 USD, con un costo de tratamiento de 0.64 USD/m³, la segunda opción tendría una inversión de \$6,637,500 USD, cuyo costo de tratamiento es 1.14 USD/m³ y la última alternativa con una inversión de \$7,046,980 USD y un costo de tratamiento de 1.25 USD/m³.

Justificación

El agua, factor esencial para el desarrollo de cualquier población. Para poder generar un mundo alternativo, es necesario avanzar por el camino del desarrollo sustentable; este es un concepto en construcción permanente, sobre el cual exista la certeza de que el desarrollo satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Debe mejorar la calidad de vida y luchar por preservar la presencia de todo tipo de vida en el planeta.

Es decir el desarrollo sustentable debe incluir las dimensiones social, económica, ambiental, tecnológica y cultural.

El abastecimiento de agua potable se ha convertido en uno de los problemas actuales y urgentes, debido al crecimiento ocasionado por la emigración rural en busca de oportunidades de trabajo, comodidades y servicios. Esta situación se agrava constantemente a causa de la situación económica actual y contribuye al desarrollo desmedido de los principales centros urbanos. Ejemplos palpables de ello son las ciudades de México, Tijuana, Guadalajara y Monterrey.

El consumo irracional del agua y la explotación de los mantos acuíferos en México ha resultado en la disminución de las reservas de agua subterránea; y en algunos casos, como el de la costa de Sonora, en la zona de Bahía Quino, ha resultado en fenómenos de intrusión salina que han dañado gravemente la calidad del agua subterránea en la zona; y han contribuido al daño sobre los suelos y las cosechas.

Esto, aunado a las deficiencias en el aspecto de manejo y tratamiento del agua residual urbana e industrial ha redundado en la contaminación de los cuerpos receptores, de los acuíferos y resulta en la disminución tanto de la cantidad, como de la calidad del recurso.

Por otro lado el costo de extracción, acondicionamiento, transporte y distribución del agua potable es cada día mayor en la medida que la carga contaminante es mayor y la distancia entre los centros urbanos y las fuentes de suministro crece.

En consecuencia:

- El agua es un recurso natural escaso,
- Es indispensable para la vida,
- Es indispensable para la mayoría de las actividades económicas,
- Es un recurso irremplazable,
- Ejerce influencia en las fuentes de energía.

Resulta entonces fácil decir que el tema del agua en México y en el mundo es indudablemente uno de los más importantes para la sustentabilidad de la raza humana.

Como un ejemplo y en relación con el suministro de agua a Monterrey, se han efectuado diversos estudios, orientados a determinar la factibilidad de conducir aguas superficiales a esta ciudad, precisando las fuentes de abastecimiento y los volúmenes aportados. En los últimos años, el incremento de la demanda ha superado a la oferta, lo que ha propiciado un déficit importante de agua potable para los diversos usos de la ciudad [1].

El reuso es una práctica muy antigua, pero el reuso intencional es relativamente nuevo y el interés por él aumenta día a día en diversas regiones del mundo, debido a la escasez de agua aprovechable tanto en cantidad como en calidad. En muchos países los requerimientos de depuración hacen que resulte interesante el reuso por la rentabilidad que genera la comercialización de agua tratada o simplemente por el ahorro en el pago de multas por contaminar.

La experiencia en el sector industrial sobre el reuso de agua residual doméstica tratada es aun muy restringida en México. De hecho sólo se identifican dos tipos de práctica. Una de ellas corresponde a plantas industriales que se abastecen directamente del alcantarillado y se encargan del tratamiento para cumplir con los requerimientos de calidad. La otra práctica es el suministro de agua tratada a un reducido grupo de empresas, algunas de ellas localizadas en la ciudad de Monterrey y otras en la zona metropolitana del valle de México [2]. El reuso en Monterrey fue la primera experiencia en su tipo en el país y data de 1955, la empresa Agua Industrial de Monterrey opera una planta de 300 L/s. y distribuye el agua a varias industrias. En el Estado de México, la planta de San Juan Ixhuatepec abastece a sus socios industriales con 160 L/s de agua tratada, proveniente del Río de los Remedios.

Por lo tanto, el gran reto para la sociedad, la comunidad científica y el gobierno es el planteamiento de estrategias racionales para el uso óptimo del agua como un recurso cada día más escaso e importante.

Hipótesis

Si existen muchas industrias que no requieren agua con una calidad equivalente a la potable, entonces se pueden emplear los efluentes de las plantas de tratamiento municipales como alimentación a dichas industrias, acondicionando estos efluentes en plantas de tratamiento rentables. Considerando que con la implementación de esta estrategia se podrá disponer de mayor cantidad de agua usable para consumo humano y mantener el desarrollo sustentable de dicha industria y prolongar las reservas naturales del vital líquido.

Objetivo

Esta tesis tiene como objetivo proponer la estrategia del reuso de agua municipal tratada en la industria, evaluando varias alternativas de tratamiento posibles, en la producción continua de agua desmineralizada para alimentación a calderas en la industria química y considerar su factibilidad en el contexto del desarrollo sustentable de la zona.

Dentro de los factores de evaluación se considerarán:

- Aprovechar el agua residual tratada por el municipio y liberar agua fresca para consumo humano.
- Implementar uso de tecnología probada, eficiente y confiable
- Obtener la calidad requerida de agua desmineralizada para su uso en calderas
- Evaluar técnicamente alternativas posibles de tratamiento de aguas residuales tratadas, para alimentación a calderas.
- Evaluar económicamente las alternativas planteadas en el inciso anterior
- Con base en los resultados obtenidos replantear la estrategia para favorecer el desarrollo sustentable de la zona donde la escasez de agua es más relevante.

Introducción.

Cuando se habla de agua es necesario recapacitar acerca del valor que cada uno de nosotros le confiere. Por ejemplo, si pensamos en el poblador rural, encontraremos que el agua le representa un bien de propiedad común y local, generadora de vida y de riqueza o fuerza destructiva que condiciona su supervivencia y desarrollo.

Para las autoridades es un recurso limitado, cada vez más escaso, con una demanda creciente, no sólo porque la población aumenta, sino porque las condiciones de vida van mejorando y requiriendo mayores cantidades de agua y porque la escasez no es únicamente natural pues la contaminación, en términos reales limita su uso.

Un ejemplo de la importancia que este preciado recurso tiene para la humanidad, se encuentra en el testimonio de muchos analistas que consideran que después del petróleo, el agua será la segunda causa de guerra. Desde principios de 1980 los servicios de inteligencia de los Estados Unidos, estimaron que habría diez regiones en el mundo que podrían enfrentarse por la disputa de los recursos hídricos. Las cuencas internacionales potencialmente más conflictivas, son las de los ríos Jordán, Eufrates y Nilo [3].

En cualquier proyecto, ya sea privado o social, el objetivo es obtener el mayor beneficio. Pero de un proyecto de tipo social, la parte más delicada es la cuantificación de los beneficios, debido a que muchos de estos no pueden medirse bajo el esquema tradicional de precios de mercado, especialmente los ambientales y la salud humana, y a pesar de que ofrecen servicios económicos a los seres humanos no aparecen en la evaluación económica, o bien en ocasiones se utiliza el llamado precio sombra o precio de cuenta para efectuar una valoración económica de este tipo de bienes.

La posibilidad de desarrollo de la economía nacional depende en gran medida de la adecuada solución al problema de la conservación del ambiente, ya que como es sabido el medio es proveedor de insumos y receptor de residuos, por lo que si agotáramos estos recursos no sólo estaríamos afectando nuestro bienestar, sino también el de las generaciones futuras.

En el contexto general los niveles de población, economías y culturas de la humanidad actual están íntimamente ligados a la forma como se usan, procesan, disponen, recuperan, o reciclan materiales y energía y a los innumerables productos elaborados a partir de ellos. Es evidente que el planeta y su población se encuentran lejos de alcanzar un estado estacionario, pero también resulta claro que van marchando por un camino "No Sustentable", en otras palabras, la revolución Industrial que hoy se conoce no es sustentable [4].

El hecho de que los bienes ambientales carezcan de mercado no impide que estén relacionados con otros que si lo tienen. Un caso particular de esta relación lo constituyen los sistemas acuáticos, que son un extremo importante dentro de la dinámica industrial.

Se debería considerar al reciclamiento (empleo repetido y ordenado en un mismo bien) y al reuso (uso escalonado para diversos fines) como un patrón ideal de consumo escalonado en el siguiente orden: Consumo domestico, industrial y agrícola.

Si para controlar la contaminación, el agua tratada es considerada como un recurso en lugar de un residuo, existe una gran posibilidad de recuperar los costos de tratamiento, con beneficios directos a la población al aligerar el pago de derechos y contar con mayor disponibilidad de agua de mejor calidad.

Con respecto al porcentaje de reuso del agua (sólo agua con tratamiento) en el mundo. En México se reusa menos del 20 %, mientras que en países desarrollados como Suecia, España, Inglaterra, el porcentaje de reuso es mayor del 80 % ó las ciudades de París o Québec que tienen un porcentaje de 60%, muestra la urgencia en favorecer la cultura de reuso del agua residual [5].

Para definir un proyecto de reuso, es necesario establecer cuales son los grupos de usuarios interesados y cuál es el nivel de tratamiento requerido. Cabe mencionar que, para propiciar el uso eficiente del agua, su precio para el usuario debe ser justo; es decir que incluya además de los cargos señalados en la Ley Federal de Derechos en materia de aprovechamiento y descarga de agua, los costos de disponibilidad, extracción, potabilización, transporte, distribución, alcantarillado, tratamiento y disposición final sin perjuicio actual o futuro para el medio ambiente [6].

Capítulo 1

Desarrollo Sustentable

1.- El Desarrollo Sustentable

Durante la acelerada expansión industrial, después de la segunda guerra mundial, se fue sintiendo cada vez más el impacto ecológico que éste implicaba. En los años 50 la bruma urbana de Londres ocasionó la muerte de miles de personas y cada invierno, el transporte londinense quedaba paralizado. El mercurio y el cadmio ingerido por los peces comestibles que se encontraban en los estuarios cercanos a instalaciones industriales ocasionaron la muerte e intoxicación de miles de japoneses. Los más grandes ríos del mundo, fueron seriamente contaminados. Residuos de DDT se difundieron hasta los sitios más remotos del planeta. El ritmo de accidentes tecnológicos se aceleró. En Suecia la lluvia ácida proveniente de Europa Occidental destruyó especies vivientes en muchos lagos [4,7]

A principios de los años 70 la industria se veía atacada conforme crecían la población y sus expectativas, la demanda de mejores productos aumentaba. Durante las décadas 70's y 80's empezó a quedar cada vez más claro que los recursos naturales estaban dilapidándose en el nombre del "Desarrollo". Se estaban produciendo cambios imprevistos en la atmósfera, los suelos, las aguas, las plantas y animales y las relaciones entre ellos. La velocidad de cambio era mayor que la capacidad científica e institucional para invertir el sentido de sus causas y efectos. Entre los problemas ambientales se encuentran

- El calentamiento Global de la atmósfera (efecto invernadero) debido a la emisión de gases.
- El agotamiento de la capa de ozono de la atmósfera, por la acción de los químicos que se basan en cloro y bromo.
- La creciente contaminación del agua y de los suelos, por los vertidos y descargas sobre ellos.
- La pérdida de especies vegetales y animales por la destrucción de su hábitat y a la especialización agrícola.

Desde entonces la contaminación se ha atacado de diversas maneras, se han introducido reglas para controlar las emisiones e incorporando factores ecológicos en proyectos futuros tanto de gobiernos como de la industria privada.

1.1 Origen y Evolución del Concepto

A finales de 1983, el Secretario General de las Naciones Unidas le pidió a la primera ministra de Noruega, Gro Harlem Brundtland, que creara una comisión independiente para examinar este problema y que sugiriera mecanismos para que la creciente población del planeta pudiera hacer frente a sus necesidades básicas y se formó así la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también llamada comisión Brundtland integrada por un grupo de ministros, científicos, diplomáticos y legisladores. Esta comisión celebró audiencias públicas en los cinco continentes durante casi tres años. Su tarea principal fue generar una agenda para el cambio global y su mandato

especificaba tres objetivos: Reexaminar cuestiones críticas relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo, formular propuestas realistas para hacerles frente y proponer nuevas formas de cooperación internacional en estos temas.

El concepto de desarrollo sustentable fué manejado por primera vez en el reporte denominado " Nuestro Futuro Común", publicado en 1987 por la comisión Brundtland. En este documento se identifican los elementos de la interrelación entre ambiente y desarrollo y se define como "Desarrollo Sustentable" aquel que puede satisfacer las necesidades y aspiraciones del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades y aspiraciones.

El informe Brundtland fue presentado en 1987, en él se describen dos futuros: uno viable y el otro no. En el segundo, la especie humana continua agotando el capital natural de la tierra. En el primero los gobiernos adoptan el concepto de desarrollo sostenible y organizan estructuras nuevas, más equitativas, que empiezan a cerrar el abismo que separa a los países ricos de los pobres, en lo que se refiere a la energía y los recursos. Lo que quedó claro fué que la incorporación de consideraciones ecológicas a la planificación del desarrollo requiere de otro enfoque en la toma de decisiones económicas.

En orden cronológico el siguiente evento internacional significativo fué la cumbre sobre la tierra, celebrada en 1992 en Río de Janeiro denominada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. En ella se trataba de encontrar modos de traducir las buenas intenciones en medidas concretas y de que los gobiernos firmaran acuerdos específicos para hacer frente a los grandes problemas ambientales y de desarrollo. Un principio de la Declaración del Río coloca a los seres humanos al centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sustentable y productividad en armonía.

La economía mundial ha transitado por etapas de fuerte crecimiento y de incorporación de tecnologías a los procesos productivos, pero son pocos los países y pueblos que han alcanzado elevados niveles de vida, es más, los adelantos se han conseguido con el uso indiscriminado y dispendioso de los recursos naturales, entre ellos los energéticos, los bosques, el agua y los suelos, con crecientes depredaciones y con contaminaciones peligrosas y tóxicas ya irreversibles, que ponen en peligro la salud y hasta la sobre vivencia de la especie humana [8].

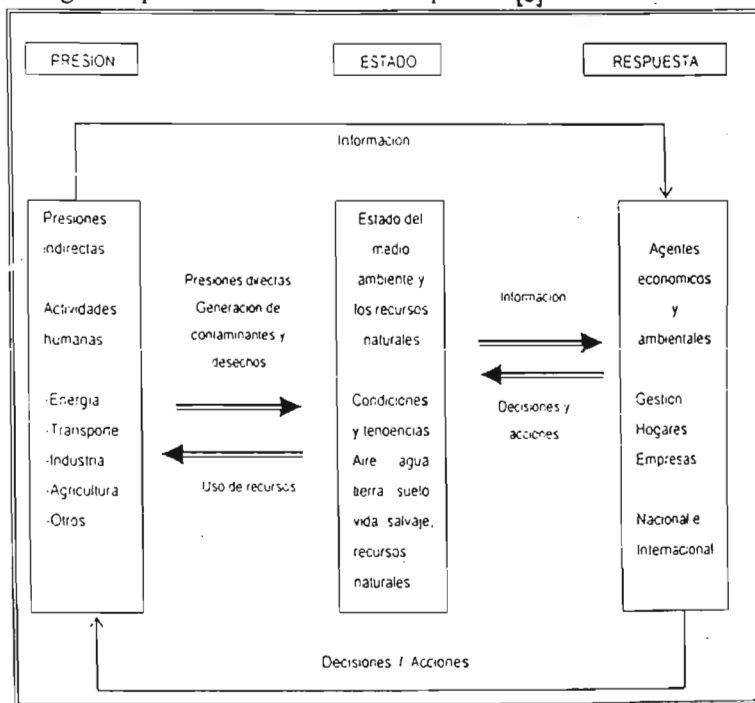
Las actividades económicas, en sus diversas formas, han generado contaminación en el planeta, por ello, el desarrollo como se ha concebido hasta nuestros días, sobre todo a partir de la Revolución Industrial y después de la Segunda Guerra Mundial, no podrá ya sostenerse. El costo ambiental ha sido superior a los beneficios materiales. De ahí la idea de procurar la sustentabilidad del desarrollo con protección ambiental acentuada, con economía de recursos y con un esquema que permita que el mejoramiento en la calidad de vida se dé con eficiencia productiva y de manera armónica con la preservación de los recursos naturales, reorientando la producción en función de procesos y productos que no deterioren o destruyan el medio ambiente, aunque para ello es necesario comprender primero las interrelaciones existentes entre las actividades sociodemográficas y económicas con los recursos naturales.

El punto crucial del desarrollo sustentable es cómo armonizar la expansión productiva con la base de los recursos que la hace posible, es decir, integrar estrategias del desarrollo económico, el bienestar de la población y las prioridades de conservación de los recursos

naturales. El esquema Presión- Estado- Respuesta (PER) diseñado originalmente en Canadá es una herramienta analítica que se basa en interacciones [9].

Las actividades humanas ejercen presión (P) sobre el medio ambiente, modificando con ello la cantidad y calidad, es decir, el estado (E) de los recursos naturales, la sociedad responde (R) a tales transformaciones con políticas generales y sectoriales las cuales afectan y se retroalimentan de las personas de las actividades humanas Fig. 1[9].

Fig.1 Esquema Presión- Estado -Respuesta [9]



A medida que el concepto de desarrollo sustentable se ha ido definiendo y precisando, es urgente repensar los propósitos de la acción humana. No se trata nada más de poner filtros en las chimeneas, si no de ir a las bases mismas de la producción para lograr que ésta sea menos sucia. Al limitar los consumos de ciertos recursos naturales, se deberán satisfacer las necesidades básicas sin abusar de la disponibilidad de los recursos, garantizando también la permanencia de los ecosistemas y reponiendo lo destruido o mal utilizado, para ello es de gran utilidad el análisis de ciclo de vida de los productos.

La tecnología por si sola no reducirá los desechos, debe ir acompañado de la conciencia e involucramiento de todo el personal de la compañía. En el mundo de la globalización y alta competitividad, las empresas deben adoptar e implantar técnicas que disminuyan los costos de manufactura, manteniendo altos estándares en sus productos.

Por otro lado, prevención de la contaminación definido por la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) como:

"La prevención de la contaminación es el uso de materiales, procesos o prácticas que reducen o eliminan la creación de los contaminantes o desperdicios en la fuente. Incluye las prácticas que reducen el uso de materiales peligrosos, así como aquellas que protegen los recursos naturales a través de un uso eficiente."

La prevención de la contaminación presenta tanto un componente suave como duro. El lado amable requiere de impulsar una actitud básica de cuidado, no sólo del ambiente, sino también por la calidad del producto que se elabora. Se necesita, además, los compromisos de los altos ejecutivos y demás funcionarios para adoptar la prevención de la contaminación y el involucramiento de empleados y trabajadores, significa que los impactos ambientales sean del todo considerados como otro factor en el proceso de toma de decisiones y no como un apéndice del proyecto [10].

Cuando se emplea el termino de "Tecnologías limpias" no se pretende decir que forzosamente se deben utilizar tecnologías sofisticadas y de última generación para abatir o disminuir la contaminación ambiental.

El Protocolo de Kyoto elaborado en 1997, prevé que los países reduzcan de nivel sus emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al nivel de 1990 en el período comprendido entre el 2008 y 2012. Para que este acuerdo pueda entrar en vigor es necesario que sea ratificado por 55 países, que son los responsables del 55% de las emisiones. Según Jan Pronk, presidente de la conferencia y ministro Holandés, el acuerdo logrado comprende cuatro apartados sobre los problemas clave que actualmente están pendientes:

- 1.- Financiamiento y ayuda a los países en vías de desarrollo
- 2.- Mecanismos de aplicación del protocolo
- 3.- Sumideros de carbono
- 4.- Régimen de cumplimiento

El comercio de emisiones, este mecanismo resulta muy polémico, debido a que los países industrializados pretenden dar cumplimiento a la mayor parte de sus compromisos con esta modalidad, con lo cual no estarían reduciendo sus emisiones, sino las del país que las transfiere o dicho de otro modo, las que adquiere de otro país miembro. Dentro de protocolo de Kyoto cada tonelada de carbono secuestrado que se utilice bajo el artículo 3.3. (Reforestación y Deforestación), implica que se emita una tonelada adicional de dióxido de carbono procedente de combustibles fósiles.

La instrumentación y aplicación de los planes y programas necesarios para el cumplimiento del acuerdo de Kyoto, implican una fuerte erogación monetaria e intensas negociaciones entre las instituciones estatales y la iniciativa privada, pues para reducir las emisiones contaminantes es necesario hacer de manera paulatina una reconversión energética a fuentes renovables de energía y modificar los patrones de producción y

consumo actuales. Lo que de inicio implica interferir con la lógica del mercado y posiblemente también reducir el crecimiento económico. Esto afectaría el precio de los productos y por lo tanto su nivel de competitividad, pues los productos de aquellos países que aplican normas para el cuidado ambiental tendrían precios elevados en comparación con los productos de los países que no lo aplican.

De tal manera que en la Unión Europea, tanto la iniciativa privada como otras organizaciones ambientalistas han puesto en marcha, con algunos órganos de gobiernos, distintos proyectos para generar energía eléctrica por fuentes renovables y han logrado buenos resultados pues algunas de estas tecnologías ya no son rentables.

Lo que resulta realmente importante es que tanto el desarrollo sustentable y el capitalismo con sus patrones de consumo son compatibles.

1.2 El Agua y Desarrollo Sustentable.

La contaminación del ambiente es uno de los grandes problemas de nuestro tiempo tanto en el ámbito nacional como en el mundial. El desarrollo tecnológico, la necesidad de expansión de las de las industrias, el desbordado crecimiento sin planificación de las grandes zonas urbanas, así como la inconciencia e ignorancia del hombre son en conjunto, las causas de este problema.

El territorio Mexicano cuenta con un promedio anual de 5.25 m³ de agua renovable por habitante, cifra que lo ubica como un país sin problemas de agua; sin embargo, al ejecutar un balance regional hay zonas con marcados déficit, como se observa en el mapa (fig. 2), cuya solución puede ser el reuso. México con una superficie cercana a los dos millones de km², tiene cerca de 100 millones de habitantes, el 71 % se ubica en poblaciones urbanas y el resto en comunidades rurales. Más del 65% de la superficie de nuestro país árida o semiárida, y en dicha proporción se presenta apenas el 20% de los escurrimientos, mientras que ahí se asientan las tres cuartas partes de la población del país [2].

Hablar de los problemas del agua implica analizar global y localmente, aquellos factores que afectan su cantidad y calidad, entre otros la deforestación, la contaminación la desertificación, la alteración del clima, las cantidades crecientes de basura cada vez más tóxica, la erosión y la salinización de los suelos, la desaparición de especies animales y vegetales, la contaminación del aire, el incremento de bióxido de carbono en la atmósfera y la destrucción de la capa superior de ozono.

Las sequías son otro factor importante que hay que tomar en cuenta, estas afectan principalmente a los estados del norte, en orden de severidad de sus efectos desfavorables, los estados más afectados son: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala [13].

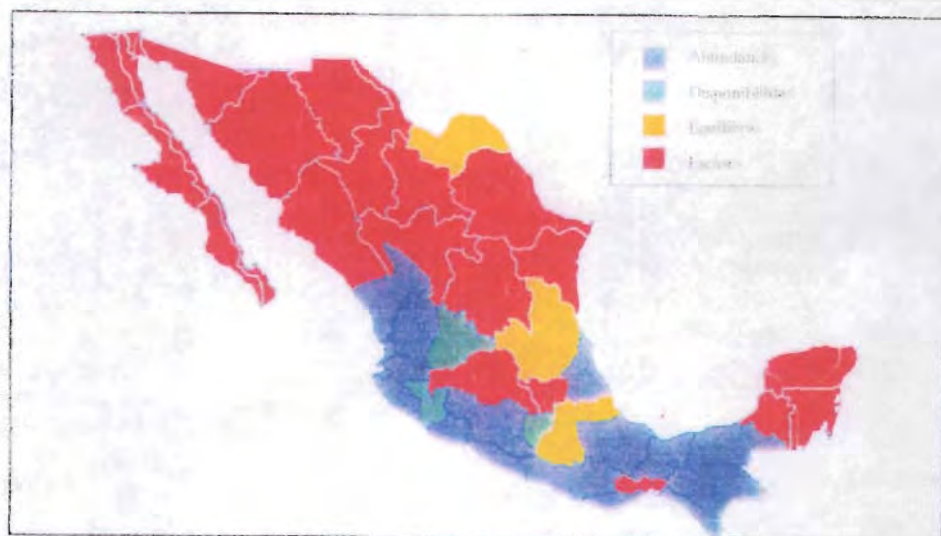


Fig. 2 Mapa balance hidráulico por región hidrológica [2].

En la tabla 1 se tiene datos de la vegetación con que cuenta México, gracias al beneficio del agua y así también en la tabla 2 se muestra los tipos de degradación del suelo causado en parte por falta de agua.

Tabla 1. Vegetación Natural de México.

Tipo de Vegetación	Superficie (miles de km ²)	Porcentaje
Superficie arbolada	393	30.7
Superficie no arbolada	534	41.8
Vegetación secundaria (alterada)	342	26.7
Áreas sin vegetación aparente	10	0.8
Total	1279	100.0

Fuente [11]

Tabla 2. Tipos de degradación del suelo

Tipo de Degradación	Superficie afectada (miles de km ²)	Porcentaje
Erosión hídrica	725	57
Erosión eólica	292	23
Degradación química	132	11
Degradación biológica	71	6
Degradación física	35	3
Total	1255	100

Fuente [11]

Estos tipos de análisis se ha dado en diversos foros internacionales como la reunión de Río de Janeiro, donde se estableció una serie de principios para promover el desarrollo

sin causar daños irreversibles al medio ambiente y en la cumbre de Desarrollo Social, celebrado en Copenhague, se establecieron los compromisos de crear un ambiente de desarrollo social y erradicar la pobreza como imperativo ético [12].

El crecimiento constante en la demanda de agua se debe al crecimiento poblacional y a la elevación en el nivel de vida. Los principales problemas de abastecimientos son los agotamientos de fuentes locales, la contaminación de las mismas, los altos costos de captación y conducción del agua y los conflictos generados por los intereses de diferentes usuarios sobre las fuentes. Paradójicamente, ante esta difícil situación, en las ciudades se presenta un elevado número de fugas, se utilizan tecnologías derrochadoras de agua, no se reusa el recurso y los sistemas de facturación y cobranza son deficientes.

1.2.1 Efectos sobre la Salud

La contaminación del suministro de agua es a su vez causa de un número mayor de enfermedades humanas que cualquier otra influencia ambiental. En los países en vías de desarrollo la población no cuenta con establecimiento de agua potable, por lo que las enfermedades causadas por la contaminación del agua alcanzan cifras alarmantes. La causa de estas enfermedades puede tener origen en bacterias, protozoarios o gusanos; su control y detección tiene como fundamento la naturaleza del agente causante.

Entre las enfermedades relacionadas con el agua se encuentran: Disentería amibiana, disentería vacilar y gastroenteritis, ascariasis, conjetivitis, enfermedades diarreicas, lepra, sarna, sepsis, tiña, tracoma, gusano de guinea, esquistosomiasis, paludismo, oncocercosis, enfermedad del sueño y fiebre amarilla [13]

1.2.2 Programa de Modernización del Manejo del Agua

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el manejo del líquido es insustentable y la inversión en infraestructura es de las más bajas, asimismo señala el organismo que las normas relacionadas con el líquido no se respetan adecuadamente.

También indicó que la mayoría de los sistemas presentan serios deterioros debido a la antigüedad de los mismos, aunada a la insuficiencia de recursos para llevar a cabo programas de mantenimiento adecuado, esto último producto de tarifas insuficientes o de una inadecuada infraestructura tarifaria en el cobro de los servicios [14].

A partir de 1996, se inició en México un ambicioso y enérgico proceso de modernización del manejo del agua. Este programa plantea una estrategia integral de modernización del manejo y administración del agua respecto a tres objetivos fundamentales, a) la asignación equitativa y eficiente del recurso, b) el uso sostenible y eficiente del agua, y c) acciones para la reducción de accidentes y pérdidas relacionadas con los fenómenos meteorológicos y climatológicos. Para ello el programa deberá promover el desarrollo de la infraestructura para obtener información básica y desarrollar capacidad técnica y humana que mejoren los procesos de toma de decisiones para la operación y manejo del agua [15], los componentes del programa son:

- Desarrollo Institucional
- Apoyo tecnológico y entrenamiento
- Modernización de los sistemas de obtención, procesamiento y archivo de datos de cantidad y calidad del agua y estudios.
- Modernización de la operación, seguridad de presas y manejo de acuíferos.
- Administración del uso del agua.

1.2.3 Participación de la Iniciativa Privada

La Ley de Aguas Nacionales considera la posibilidad de que la iniciativa privada participe en el financiamiento, construcción y operación de la infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos.

La participación del sector privado no debe entenderse como la liberación de la responsabilidad del gobierno de asegurar la prestación de los servicios a la población. Esta alternativa debe significar únicamente contar con una opción que asegure una reducción del nivel de inversión de recursos públicos escasos, al mismo tiempo un incremento de calidad y cobertura de los servicios, en la misma medida en que lo sustente la posibilidad de mejorar la eficiencia del organismo.

También se debe tomar en cuenta, la participación de los usuarios en las negociaciones de aquellos aspectos que les afectan directamente, ya que su permanencia en los sistemas, trasciende los periodos de las administraciones municipales.

Entre las recomendaciones que hace la OCDE a México están aumentar la inversión actual en el recurso, así mismo plantea que se debe alentar a las empresas de aguas residuales que obtengan su registro ISO, a fin de elevar la eficiencia de las plantas de tratamiento [14].

1.2.4 Situación Actual del Agua

Las estimaciones de cuánta agua se usa actualmente a nivel mundial son variables, se estimaba que el consumo total en el año 2000 sería de alrededor de 5,200 km³. Mientras que el World Water Council (WWC) aceptaba un valor de 3,900 km³ [16].

No obstante el elevado consumo de agua que reflejan estas cifras, una quinta parte de la población mundial no tiene acceso al agua potable y más de la mitad no cuenta con servicio de saneamiento, como se muestra en la tabla 3. La razón de extracción del agua es mayor que el crecimiento demográfico.

Por otra parte, la contaminación de los recursos hídricos provoca que enormes cantidades de agua no puedan reutilizarse o sólo se puedan emplear para propósitos muy limitados. De acuerdo con la ONU, algunos de los principales problemas ocasionados [17] por la contaminación son los siguientes:

- El consumo humano de agua contaminada es una de las principales causas de enfermedades y muerte.

- El incremento de nitrógeno y fósforo en el medio acuático ha acelerado el crecimiento de algunos tipos de alga, la eutrofización y las melazas acuáticas.
- Se registra contaminación de las fuentes de agua subterránea.
- Existen en el ambiente 100,000 compuestos químicos artificiales y solo 2% cuentan con estudios toxicológicos.
- Se registra una fuerte contaminación por metales pesados.

1.2.5 Situación del Agua en México

El panorama Nacional es semejante al mundial; tiene una precipitación media anual de 777 milímetros, lo cual equivale a $1,522 \text{ km}^3$, si se restan la evapotranspiración ($1,106 \text{ km}^3$) y el agua que se entrega a los EEUU en el río Bravo ($0,5 \text{ km}^3$) y se suma al agua que ingresa a nuestro territorio de cuencas de Guatemala y los Estados Unidos ($49,8 \text{ km}^3$), se tiene la disponibilidad natural de 463 km^3 , de los cuales 410 km^3 corresponden a escurrimientos y 53 km^3 a recarga de acuíferos.

Poco más del 70% del agua que llueve en el país se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos y/o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos.

Tabla 3 . Situación mundial y nacional del año 2000.

Concepto	Situación Mundial	Situación Nacional (México)
Porcentaje de agua disponible	0.007 %	
Cantidad disponible/ anual	$9,000 \text{ km}^3/\text{año}$ $1,390 \text{ millones de km}^3$	$79,4 \text{ km}^3$ [$51,2 \text{ km}^3$ agua superficial y $28,2 \text{ km}^3$ agua subterránea]
Reservas almacenadas	$3,500 \text{ km}^3/\text{año}$	
Agua extraída	[4000 a 5200] $\text{km}^3/\text{año}$	
Uso del agua extraída	70% agricultura 10 % municipal 20 % Industrial	76% agricultura $79,4 \text{ km}^3$ total extraído
Distribución del agua	Río Amazonas 16% del escurrimiento global. Zonas áridas 2% (40% superficie terrestre)	Zona Sur y Golfo (20% de la superficie) 55% del total de agua disponible Zonas áridas (30%) solo 4% del total de agua disponible
Población	1/5 de la población mundial no tiene acceso al agua.	De 1950 al 2000, la población casi se cuadruplicó Pasó de 57% rural a Urbana (57%).
En el siglo XX	a) Población creció de 3.5 veces [de 1,650 millones a 6,060 millones] b) Extracción creció 10 veces [de 303 km^3 / 1,000 millones de hab. a 825 km^3 / 1,000 millones de habitantes] c) Superficie de riego creció de 50 a 250 millones de hectáreas, y su volumen de agua utilizada fue de 400 km^3 a $2,500 \text{ km}^3$	
Superficie	Capa hidrosfera = 510 millones km^2	$1,964,375 \text{ km}^2$

Fuente: [16]

Cuando la disponibilidad per cápita de agua tiene un valor inferior a $1,700 \text{ m}^3$ / habitante por año, se considera que existe estrés hídrico. Cuatro regiones se encuentran ya en estas condiciones y debido al aumento de la población otras más podrían estar en la misma situación. Sobresale por sus características severas el valle de México, que se clasifica con grave estrés hídrico, con solo 227 m^3 por habitante por año [16].

El uso agrícola continúa siendo el mayor consumidor de agua, con alrededor de 76% de las extracciones. La eficiencia en el uso del agua es aún muy baja, pues se estima en 46%, en promedio. La superficie total de riego es de 6.3 millones de hectáreas, de las cuales 54% corresponden a 81 distritos de riego y 46% a 39 mil unidades de riego, no obstante la superficie cosechada, por efectos de carencia de agua, de tecnología o de financiamiento, ha sido menor en los últimos años que el total disponible. Asimismo, un porcentaje aun indeterminado del total está afectado por salinidad.

Una vez más las tendencias son interesantes, la superficie sembrada por habitante no ha variado: en 1991 fue de 0.24 ha/hab y en 1998, de 0.23 ha/hab. Del agua que se precipita sobre territorio nacional, el 27 % se transforma en escurrimiento superficial, esto es, se cuenta con 410 km^3 en las 314 cuencas del país [12]. El 50 % del escurrimiento superficial se genera en el sureste; en tan solo el 20% del territorio, mientras que en una porción del norte que abarca el 30% del territorio se genera sólo en el 4%.

México tiene lagos y lagunas con una capacidad de almacenamiento de 14 km^3 y se han construido presas que almacenan 120 km^3 , la suma de ambos equivale al 47% del escurrimiento medio anual. Otra parte de la lluvia se infiltra, se estima que 48 km^3 anuales forman el recurso renovable de los acuíferos, además de aquellos que se encuentran bajo zonas de riego que reciben una carga artificial de 15 km^3 de agua. Finalmente se ha estimado que existen alrededor de 110,000 millones de m^3 en los acuíferos que podrán utilizarse por una sola vez.

En 1950 el recurso disponible per cápita era de 11 mil m^3 , mientras que en 2005 es de 4 mil 600 metros, lo cual aún está dentro de las normas internacionales [14].

Entre el 2003 y 2025 habrá en México 19.9 millones de habitantes más, y se tendrá menos agua para distribuir, en la tabla 4 se presenta el pronóstico de disponibilidad de agua para el año 2025.

Tabla 4. Disponibilidad natural de agua por año

Año	m^3 / seg
1970	9,880
2000	4,708
2025	3,882

Fuente [11]

De mantenerse la sobre explotación de acuíferos, el bajo tratamiento de aguas residuales y el mal uso de líquido, el gobierno mexicano enfrentará para los próximos 10 años el reto de abastecer de agua a la mitad de la población que carece del recurso, lo cual actualmente ascienda a 10,6 millones de personas, de acuerdo con el compromiso asumido en la Cumbre de Johannesburgo. Para CONAGUA esto hace necesario

eliminar los subsidios que se utilizan en el servicio de agua potable, ya que esto representa un "incentivo perverso" [14]

Los sistemas de tratamiento para las descargas domésticas son insuficientes en la mayoría de los países y a ellos se agrega el problema de la disposición de los lodos producto del tratamiento, los cuales son tirados a cielo abierto, devueltos a los sistemas de alcantarillado y sólo en algunas ocasiones son tratados adecuadamente.

En cuanto al uso urbano, de acuerdo con cifras de la CNA, en 1998 había 12.99 millones de habitantes sin agua potable, con lo que se alcanzó una cobertura de 84.67%. Con respecto al alcantarillado, el secretario de recursos naturales y medio ambiente de México, Alberto Cárdenas espera que para el 2006 se incremente del 31% actual al 46% [17].

En las ciudades, las fugas en la conducción y redes de distribución de agua son muy elevadas y oscilan entre 30 y 59%. A estas pérdidas se suman la mala medición, falta de facturación y cultura de no pago, de tal modo que los organismos sólo cobran alrededor de 35% del agua que ingresa al sistema [16].

La política vigente del uso del agua es a todas luces insostenible [18]. Es absurdo extraer agua de 300 metros de profundidad sobre explotando el acuífero o traerla de 120 km de distancia y bombearla a 1000 metros de altura, para usarla una sola vez y desalojarla fuera de nuestra cuenca.

1.2.6 La Población de México y otros Países

La población del país casi se cuadruplicó de 1950 al 2000, y pasó de ser predominantemente rural a urbana. La tasa de crecimiento ha disminuido significativamente a un valor del 1% y se estima que para el año 2030 solo sea del 0.4%, en la tabla 5 se presenta la extensión territorial por estado y población, así como su contribución del PIB a la economía nacional.

En la tabla 6 se puede ver la extensión territorial de otros países en el mundo, así como también su población que, como ya se dijo, son un factor importante en el consumo de agua.

Tabla 5. Estados, Municipios y su participación en la economía nacional

Entidad Federativa	Extensión Territorial Miles de km ²	Población Millones de habitantes (Dic 2003)	PIB (%)	Número de Municipios
Aguascalientes	5.6	1.02	1.2	11
Baja California	71.5	2.83	3.5	5
Baja California Sur	73.9	0.49	0.6	5
Campeche	57.7	0.76	1.2	11
Coahuila	151.4	2.49	3.0	38
Colima	5.6	0.58	0.5	10
Chiapas	73.7	4.33	1.7	118
Chihuahua	247.5	3.34	4.4	67
Distrito federal	1.5	8.81	22.5	16
Durango	123.4	1.55	1.3	39
Guanajuato	30.6	5.01	3.2	46
Guerrero	63.6	3.25	1.8	77
Hidalgo	20.9	2.36	1.3	84
Jalisco	78.6	6.73	6.6	124
México	22.3	14.33	10.1	124
Michoacán	58.7	4.21	2.2	113
Morelos	4.9	1.69	1.5	33
Nayarit	27.9	0.98	0.6	20
Nuevo León	64.2	4.15	7.0	51
Oaxaca	93.3	3.68	1.5	570
Puebla	34.3	5.45	3.8	217
Querétaro	11.7	1.56	1.7	48
Quintana Roo	42.5	1.04	1.5	8
San Luis Potosí	61.2	2.39	1.7	58
Sinaloa	57.3	2.74	1.9	18
Sonora	179.5	2.43	2.7	72
Tabasco	24.7	2.04	1.2	17
Tamaulipas	80.2	3.08	3.1	43
Tlaxcala	4.0	1.05	0.6	60
Veracruz	71.9	7.26	4.0	210
Yucatán	39.7	1.78	1.4	106
Zacatecas	75.4	1.42	0.7	57
Total Nacional	1,959.2	104.78	100	2,446

Fuente INEGI 2000, Banco de Información Económica, Sistema de Cuentas Nacionales de México 2001.

1.2.7 Ciclo de Vida

El concepto de Análisis de ciclo de vida representa un enfoque administrativo en plena evolución y está relacionado con el impacto del producto, empaque o actividad que puede ocasionar sobre el medio ambiente y la salud humana. Abarca cada etapa en la vida de los productos manufacturados, desde la extracción de las materias primas hasta la producción o construcción, transportación, distribución, uso, servicio y disposición o reciclado [21].

Tabla 6. Población y Extensión Territorial Mundial

País	Extensión Territorial (miles de Km²)	Población (millones de habitantes)	Densidad de Población (hab/Km²)
Alemania	357	82.2	230
Argentina	2767	37.0	13
Australia	7687	18.9	2
Brasil	8512	170.1	20
Canadá	9976	31.1	3
China	9597	1277.6	133
Corea del Sur	98	46.8	478
Costa Rica	51	4.0	78
Egipto	1001	68.5	68
España	505	39.6	78
Estados Unidos	9629	278.4	29
Francia	547	59.1	108
Guatemala	109	11.4	105
Indonesia	1919	212.1	111
Japón	378	126.7	335
Marruecos	447	28.4	64
México	1959	104.8*	53
Países Bajos	42	15.8	376
Sudáfrica	1220	40.4	33
Turquía	781	66.6	85

Fuente [1] * 2003

Este es un concepto diferente al estudiado por los economistas, cuando se refieren al ciclo de vida de un producto de una industria. Los objetivos del diseño del ciclo de vida, son promover el desarrollo sustentable al nivel global, regional o local. Desde el punto de vista empresarial, los elementos esenciales del desarrollo sustentable incluyen la prevención de la contaminación, la conservación de los recursos, la salud humana y el mantenimiento de los ecosistemas. Puesto que el diseño del ciclo de vida pretende minimizar los impactos ambientales y utilizar eficientemente los recursos al tratar de satisfacer las necesidades básicas de la sociedad.

Una de las herramientas más conocidas para efectuar el análisis ambiental es la evaluación del ciclo de vida (LCA-Life cycle assessment) que queda fuera del alcance de esta tesis.

El ciclo hidrológico ocurre en las cuencas, las cuales son unidades mínimas de manejo de agua. Las cuencas del país se encuentran agrupadas en 37 regiones hidrológicas para la realización de estudios hidrológicos y de calidad del agua. Esta regionalización fue elaborada en los años 60 por la entonces Dirección de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Adicionalmente para fines de publicación de la disponibilidad del agua, se han definido algunas zonas hidrológicas, las cuales son porciones de regiones hidrológicas, por ejemplo: zona hidrológica Lerma –Chapala [11].

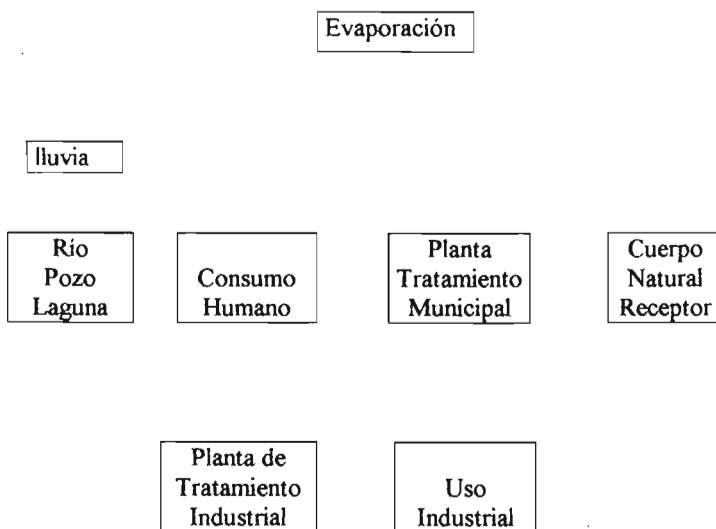


Fig. 3 Ciclo del agua generador de contaminación (creación propia)

En la figura 3 se presenta al ciclo del agua generador de contaminación y desfavorecedor del desarrollo sustentable; sin embargo, si se insertan los bloques de planta de tratamiento industrial y uso industrial, entre los bloques de planta de tratamiento municipal y el bloque de cuerpo receptor, completando a su vez este esquema con un bloque adicional y antes del bloque del cuerpo receptor correspondiente a la planta del tratamiento de efluentes (industriales), se obtendría el esquema de la figura 4, que corresponde al ciclo forzado favorecedor del desarrollo sustentable.

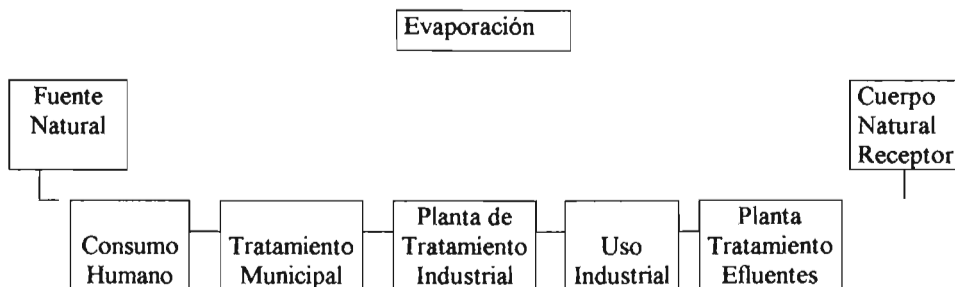


Fig. 4 Ciclo de vida forzado favorecedor del desarrollo sustentable (creación propia)

Capítulo 2 Agua e Industria

2.1 Consumo de Agua en la Industria

El uso de agua en la industria en México, representa aproximadamente el 4% de la extracción del agua en el país. Del total del consumo industrial, el 45% se utiliza para enfriamiento, el 30% en procesos, el 20% en calderas y en otros servicios el 5%. Casi el 80 % del consumo de agua de este sector lo realizan sólo seis ramas industriales que son: azucarera, química, petróleo, celulosa y papel, textil y bebidas [15], como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7 Consumo de agua de los principales giros Industriales

Industria	Extracción %	Consumo %
Azucarera	35.2	38.8
Química	21.7	21.0
Petróleo	7.2	8.2
Papel y Celulosa	8.2	6.0
Textil	2.6	2.7
Bebidas	3.3	2.4
Siderúrgica	2.5	1.7
Eléctrica	1.5	0.7
Alimentos	0.2	0.2

Fuente [11]

2.2 Número y Tipos de Industrias

En la tabla 8, se presentan los tipos y número de industrias de los principales estados de la república, destacando claramente que la zona norte y el Distrito Federal son estados candidatos a implementar un sistema de reuso de agua residual tratada municipal para uso en la industria, como el propuesto en este trabajo de investigación.

Tabla 8. Número de Industrias por entidad Federativa

Estado	Minería y petróleo	Alimento	Papel	Metalúrgica	Electricidad	Textil
Nuevo León	84	2,394	1267	43	1	1,064
San Luis Potosí	60	2,425	372	20	1	494
Sonora	81	2,285	444	7	1	409
Distrito Federal	11	9,472	4,797	30	2	3,605
Tamaulipas	32	2,515	624	0	1	562
Sinaloa	55	2,146	341	ND	1	311

Fuente [20]

2.3 Calidad de Agua Requerida para Diversos Usos

Atendiendo no sólo a la cantidad sino también a la calidad, la evaluación de la calidad del agua se determinó con base a los criterios ecológicos del uso del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre de 1989 y de un Índice denominado potencial de uso [2].

En la tabla 9 se muestran los indicadores de calidad de diferentes países, en la cual se observa que México ocupa los últimos lugares en un grupo de 122 países.

Es importante el uso que se le dará al agua tratada por lo que se requiere saber cuáles son los valores máximos permisibles de los parámetros importantes. Las aguas residuales tratadas son destinadas para satisfacer diferentes necesidades, tal como, necesidades domésticas de la población, en el riego de áreas verdes, la recreación, la industria, etc. Necesitan cumplir con ciertos requisitos respecto al contenido de sustancias y organismos presentes en ellos, de tal forma que garanticen su manejo confiable y sin riesgos para la salud de quien esté en contacto con ellas y sin deteriorar las instalaciones y equipos de las actividades que la demanden [21].

En la tabla 10 se observan los valores máximos permisibles de los principales parámetros de las aguas residuales según el uso que se les dará.

Tabla 9 Valores del Indicador de Calidad del Agua del PNUMA, 2002

País	Valor de Indicación de calidad de agua	Lugar que ocupa de 122 países
Canadá	1.45	2
Japón	1.32	5
Corea del Sur	1.27	8
Francia	1.13	10
Estados Unidos	1.04	12
Argentina	1.03	13
Australia	0.73	20
Países Bajos	0.70	21
Brasil	0.64	23
España	0.58	28
Costa Rica	0.23	38
Turquía	0.10	45
Sudáfrica	0.09	47
Alemania	-0.06	57
Egipto	-0.15	63
Guatemala	-0.30	81
China	-0.33	84
México	-0.69	106
Indonesia	-0.77	110
Marruecos	-1.36	121

Fuente [13]

2. 4 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

Las cifras referentes (valores anuales) a las descargas de agua residual proveniente de los centros urbanos al año 2002 son: Aguas residuales 7.95 km^3 ($252 \text{ m}^3/\text{s}$), se colectan en el alcantarillado 6.4 km^3 ($203 \text{ m}^3/\text{s}$); comparado con la industria que genera 5.39 km^3 ($171 \text{ m}^3/\text{seg.}$)[11].

Actualmente la ciudad de México produce $60 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales urbanas y 231 a nivel nacional de éstas se tratan $43 \text{ m}^3/\text{seg}$. La proyección de la producción de agua residuales en todo el país para el año 2010 será de $317 \text{ m}^3/\text{s}$ como se muestra en la gráfica 1. La demanda de agua para uso industrial en el año 2010, será de aproximadamente $125 \text{ m}^3/\text{seg}$, generando una descarga de aguas residuales de $100 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Otros analistas, estiman que se generan $174 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua residual doméstica a escala nacional, de los cuales $123 \text{ m}^3/\text{s}$ provienen de 839 localidades que corresponden al 77% de la población [2].

A finales de 2002 en los alcantarillados municipales del país se colectaba un caudal de $203 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales, de este caudal el 27% ($56.1 \text{ m}^3/\text{s}$) recibió tratamiento. En estas plantas se removi6 aproximadamente el 19% de la carga orgánica contenida en las aguas residuales colectadas al alcantarillado[11].

En cuanto a tratamiento de aguas residuales, en 1999 se tenía la capacidad instalada para efluentes municipales de $67.5 \text{ m}^3/\text{s}$, pero operaban 78% de las plantas, con un caudal tratado de $42.4 \text{ m}^3/\text{s}$, del cual sólo $29 \text{ m}^3/\text{s}$ cumplía con la norma de descarga. Es decir sólo 12% del caudal de aguas residuales se trata adecuadamente, hoy en día aun se tiene un rezago como se muestra en la tabla 11, donde se tiene el número de plantas en operación por entidad federativa, así como la capacidad y el caudal tratado.

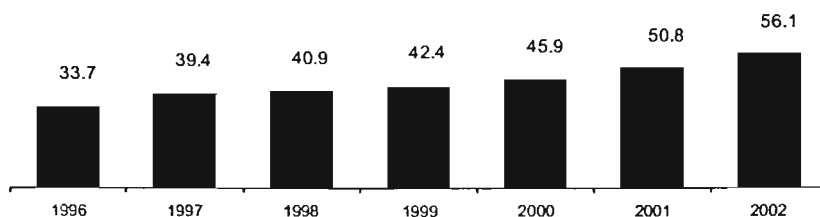
Tabla 10 Criterios de Calidad de Agua Residual Tratada para Diversos Usos.

Parámetro	Forrajes Áreas verdes	Llenado de Lagos	Navegación Deportiva	Municipal No Potable	Vapor	Enfriamiento	Potable
pH	6.5	7.7	7.8	7.5	7.5	7.5	7.0
Color	60	38	15	60	41	60	5
Turbidez	20	15	15	10	5	10	6
Alcalinidad Total	500	500	650	300	250	300	300
Carbonatos	10	50	50	50	50	50	10
Bicarbonatos	500	450	450	300	200	250	300
Hidroxilos	0	0	0	0	15	0	10
Cond. eléctrica	3000	3000	3000	5000	15000	5000	1500
Cloruros	500	1000	1000	500	500	500	250
Boro	2	2	2	NS	NS	NS	2
SOLIDOS							
Totales	1500	2000	2000	1000	500	1000	600
Totales fijos	1000	1000	1500	800	400	500	450
Totales volátiles	500	280	500	200	100	500	50
Disueltos totales	1000	1000	1000	920	500	900	600
Disueltos fijos	500	500	800	720	400	400	450
Disueltos Volátiles	485	185	485	200	100	500	50
Suspendidos totales	500	1000	1000	100	0	400	10
Suspendidos fijos	500	500	700	80	0	100	10
Suspendidos volátiles	15	15	15	-	0	0	10
Sedimentables	1	1	1	-	0	0	0.1
Nitrógeno amoniaco	5	2.5	2.5	2.5	2	5	0.5
Nitrógeno total	10	10	10	10	10	10	10
Nitratos	50	50	50	100	25	25	25
Fósforo total	50	50	50	50	50	50	50
Calcio Total	150	150	150	150	30	30	NS
Magnesio total	100	100	100	100	100	100	NS
Sodio total	100	250	250	250	50	100	NS
Potasio total	150	100	100	100	100	100	NS
Coliformes totales	1600	10	50	20	10	50	2 E-6
Coliformes fecales	30000	1000	10	5	2	10	50 E-6
Materia Org. DBO Soluble	20	20	20	10	2.5	20	2.5
DQO Solubles	50	50	50	20	10	50	4
Carbonato Org. total fijo	10	10	10	20	1	20	2
Grasas y aceite	50	10	10	20	1	10	1

Fuente [21] NS= No Sancionados, Valores en mg/L, Conductividad = ohms/cm, Coliformes = millones de colonias/100 ml, Color = u.pt/Co, Turbidez = Hefelométricas

Grafica 1

Caudal de aguas residuales municipales tratadas
(1996-2002)
(m³/s)



Fuente: CNA (2), 2003.

La carencia de agua a hecho que el reuso municipal adquiera mayor importancia. En ella sobresalen dos niveles: se requiere de agua de muy buena calidad para emplearla en el consumo humano y otra de bajo nivel para emplearla en riego de áreas verdes, relleno de lagos recreativos, abastecimiento de fuentes de ornato, lavado de calles, control de incendios, limpieza de maquinaria de recolección de basura y recarga de acuíferos.

Una práctica común es el suministro de agua tratada a un reducido grupo de empresas, algunas de ellas localizadas en la ciudad de Monterrey y otras en la zona metropolitana del valle de México. El reuso en Monterrey fue la primera experiencia en su tipo en el país y data de 1955. La empresa "Agua Industrial de Monterrey" opera una planta de 300 l/s y distribuye agua a varias industrias. En el estado de México, la planta de San Juan Ixhuatpec abastece a sus socios industriales con 160 l/s de agua tratada, proveniente del río de los Remedios [2] .

Tabla 11 Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación por entidad federativa .

Entidad Federativa	No. de Plantas en Operación	Capacidad Instalada (m³/seg)	Caudal Tratado (m³/seg)
Aguascalientes	86	2.72	2.23
Baja California	15	4.44	3.90
Baja California Sur	15	1.08	0.76
Campeche	12	0.13	0.05
Coahuila	6	1.28	1.16
Colima	40	0.57	0.45
Chiapas	5	0.17	0.11
Chihuahua	58	5.13	3.77
Distrito Federal	28	7.03	3.65
Durango	87	3.43	2.34

Continuación.....

Guanajuato	18	3.94	2.87
Guerrero	25	2.86	1.65
Hidalgo	11	0.10	0.07
Jalisco	73	2.77	2.22
México	52	6.62	4.55
Michoacán	13	1.14	0.66
Morelos	18	1.26	1.05
Nayarit	49	1.66	1.09
Nuevo León	55	12.25	8.64
Oaxaca	37	0.78	0.60
Puebla	28	3.10	2.32
Querétaro	48	0.91	0.62
Quintana Roo	14	1.54	1.02
San Luis Potosí	5	0.80	0.55
Sinaloa	47	3.00	2.38
Sonora	61	3.32	2.36
Tabasco	35	1.00	0.78
Tamaulipas	15	2.58	2.37
Tlaxcala	31	0.92	0.60
Veracruz	71	2.88	1.02
Yucatán	10	0.14	0.14
Zacatecas	11	0.18	0.16
Total Nacional	1077	79.73	56.14

Fuente [11]

La tabla 12 muestra algunos estados que más agua urbana generan, así como el número de municipios que los conforman.

Tabla 12. Caudal de agua urbana generado por entidad federativa

Estado	Número de Municipios	Q (m ³ /año)
Nuevo León	51	143, 000,000
San Luis Potosí	58	1, 284, 000
Sonora	72	103, 000
Distrito Federal	16	725,810,777
Tamaulipas	43	2,020,000
Sinaloa	18	439,000,

Fuente [20]

2.5 Agua Residual, Usos y Características

Es importante conocer las características del agua residual ya que mediante éstas se determina el contenido de contaminantes que es la base para definir las necesidades de tratamiento, el primer paso consiste en realizar un análisis de una muestra de agua representativa.

Las aguas residuales de tipo municipal están constituidas por aproximadamente 99.9% de agua y 0.1% de residuos sólidos y de estos, de 40 a 70% son de origen orgánico y son los responsables de las características desagradables del agua residual, tales como color, Olor, apariencia, además de que constituyen la fuente de alimentos de los microorganismos patógenos existentes en el agua.

2.5.1 Características Biológicas y Micro Organismos Patógenos

Los microorganismos se pueden introducir al subsuelo a través de fosas sépticas, irrigación con aguas negras, disposición de lodos de desecho, etc. Los patógenos, bacterias, virus, protozoarios y lombrices parásitas- constituyen uno de los problemas más serios de salud en el país, ya que los padecimientos gastrointestinales ocupan el primer lugar de las enfermedades endémicas y la principal fuente de estos microorganismos son las aguas residuales [23].

Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos; el agua residual contiene más de 10^6 coliformes/ ml. Después del tratamiento convencional el agua residual todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales.

Retomando por ejemplo el caso de enfermedades diarreicas como un punto de referencia para valorar la salud se debe a que este tipo de enfermedad ocupa el cuarto lugar de causa de muerte infantil y el doceavo en la población adulta [24].

2.5.2 Características Químicas del Agua Residual

2.5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es uno de los parámetros más significativos para definir la calidad del agua, ya que proporciona una medida exacta del oxígeno utilizado por una población microbiana, heterogénea durante la oxidación de la materia orgánica. La prueba se basa en que toda la materia orgánica contenida en las aguas residuales deberá oxidarse hasta CO_2 , agua y amoníaco, usando oxígeno molecular como electrón receptor, convirtiéndose en una mitad directa del oxígeno y en una medida indirecta de la materia orgánica biodegradable.

Las reacciones oxidativas efectuadas en la prueba de DBO son el resultado de una actividad biológica, la velocidad de estas reacciones está regida por la población de microorganismos y la temperatura. Teóricamente, esta reacción requiere un tiempo infinito para una oxidación biológica completa de la materia orgánica, pero, para fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días, sin embargo, aún es un periodo muy grande para esperar resultados, por lo que se ha encontrado, que un porcentaje razonablemente de la DBO total se logra en 5 días (aproximadamente 10 a 80% en las aguas residuales domésticas y muchas industriales, por lo que este periodo de incubación se ha aceptado como un patrón [25], la tabla 13 muestra los criterios de calidad de agua basada en la DBO.

Tabla 13, Escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅)

DBO ₅	Criterio	Descripción
Menor o igual a 6mg/L	No contaminada	Típico de aguas naturales
Mayor de 6 y menor o igual a 30 mg/L	Buena calidad	Con bajas concentraciones de materia orgánica o presencia de agua municipal tratada con procesos biológicos.
Mayor de 30 y menor o igual a 120 mg/L	Con indicios de contaminación	Presencia de agua municipal sedimentable o de industria poco contaminante
Mayor de 120 mg/L	Contaminada	Presencia de agua residual municipal cruda o de industria contaminante.

Fuente [1]

2.5.2.2 Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno consumido por una muestra de agua residual de dicromato de potasio de 2 ó 3 h de reflujo con ácido sulfúrico concentrado a una temperatura de aproximadamente 145 °C, casi todas las sustancias orgánicas se oxidan en su totalidad, con excepción de compuestos con piridina, el benceno, o el tolueno. La diferencia de DBO entre dos puntos de un reactor bioquímico puede tomarse como una medida directa de la energía requerida para oxidación del sustrato en términos del oxígeno.

En esta prueba existen limitaciones como la de oxidar la materia orgánica del desecho sin importar su degradabilidad biológica. Una segunda limitante es que no se proporciona la velocidad de estabilización del desecho, tal como ocurriría en la naturaleza por medio de la oxidación de microorganismos.

En las destilerías y en las refinerías cuando se utiliza un catalizador para acelerar la oxidación, el valor de DBO es mayor que el de DQO, esto quiere decir que hay una mayor cantidad de materia orgánica susceptible a oxidarse más de manera biológica que química.

En aguas naturales, la DBO disminuye más rápido que la DQO lo que significa que en la naturaleza la oxidación enzimática reduce rápidamente los compuestos biológicamente existentes (esto sucede en plantas de tratamiento biológico). En la naturaleza la relación DQO/DBO tiende a aumentar con el tiempo, el tratamiento del desecho y/o condiciones que favorezcan la estabilización. La tabla 14 muestra los criterios de calidad basándose en la DQO.

Tabla 14, Escala de clasificación de la calidad de agua, conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

DQO	Criterio	Descripción
Menor o igual a 20 mg/L	No contaminada	Típico de aguas naturales
Mayor de 20 y menor o igual a 100 mg/L	Buena calidad	Aguas con materia orgánica
Mayor de 100 y menor o igual a 250 mg/L	Con indicio de contaminación	Presencia de agua residual, urbana
Mayor de 250 y menor o igual a 500 mg/L	Contaminada	Presencia de agua residual con concentración débil de materia orgánica
Mayor a 500 y menor o igual a 1000 mg/L	Muy contaminada	Presencia residual con concentración media de materia orgánica
Mayor de 1000 mg/L	Fuertemente contaminada	Presencia de agua residual con concentración alta de materia orgánica.

Fuente [Modificado de Chapman, D, Kimstach, V 1996. Metcalf & Eddy, Inc, 1991]

2.5.3 Sabor y olor

Hay muchas fuentes naturales de sabor y olor que causan los compuestos en adición de químicos sintéticos. El componente natural mejor conocido y oloroso es el H_2S , que es rápidamente soluble en agua. Aunque este compuesto es tóxico, su olor no es notable a muy bajas concentraciones.

Las fuentes de olor y sabor son muchas. Los fenoles son encontrados naturalmente en fósiles pero también son producidos en algunas industrias. Los fenoles son detectables a bajas concentraciones y son medianamente tóxicos

2.6 Beneficios de Reusar el Agua Municipal en México.

La primer ventaja que obtendrían los municipios al efectuar el reuso es económica, por ejemplo considérese que se emplean $9 \text{ m}^3/\text{s}$ para abastecimiento municipal y se descargan $6 \text{ m}^3/\text{s}$ que por derechos correspondientes, solamente en 1994, fueron de \$165 millones, 13 % por el aprovechamiento del agua y 87 % por la descarga de agua residual contaminada. Lo que llama la atención es el costo anual de operación por el tratamiento del agua residual con todos activados equivaldría a 50 millones de pesos, es decir un tercio del derecho por arrojar agua sin tratar a un cuerpo de agua nacional. Con el tratamiento para reuso, se aprovecharía la ventaja económica de eliminar el pago por los derechos de descarga y se prepararía agua para otro fin, por ejemplo uso en la alimentación a calderas en la industria entre otros como se observa en la tabla 15, además de disponer de mayor cantidad de agua fresca para otro consumo (consumo humano); es bien sabido que el agua es un insumo energético para la industria y esta a su vez es generadora de empleos y que en conjunto contribuyen al crecimiento económico de la zona y por ende al del país.

Tabla 15 .Sectores que usarían agua residual doméstica en México [2]

Sectores	Usos
Agrícola ^a	Riego
Industrial ^a	Enfriamiento Industrial ^a
	Transporte de Materiales ^a
	Calderas ^d (es el caso que nos ocupa en esta tesis)
	proceso ^b
Municipal ^a	Riego de áreas verdes ^a
	Fuentes de ornato ^a
	Limpieza de maquinaria de recolección de basura ^a
	Usos recreativos ^b
	Lavado de autos ^b
	Recarga de acuíferos ^b (1)
	Control de incendios ^c
	Recreativo ^d (se requerirá de un tratamiento adicional y específico, que da pauta a nuevos trabajos y análisis de tratamiento)
	Consumo humano ^d

a) altamente recomendable

b) medianamente recomendable

c) poco recomendable, en función de otros usos posibles

d) Posible, en función de las condiciones específicas del proyecto

1) en ciertas zonas y preferiblemente por infiltración

2.6.1 Sector Industrial

El agua después de su potabilización, puede alcanzar un costo de hasta \$ 31 / m³. El costo que en promedio pagan los habitantes es de \$ 2 /m³ y la industria de \$ 20 /m³. Tarifas por derechos de agua a partir del 2003, (Art. 223 B de ley federal de derechos en materia de agua DOF 30 dic 2002).

Otro beneficio económico es el ahorro de derechos por descarga de agua contaminada contra el costo de tratamiento requerido para el reuso. Se reduce el pago por derechos por descarga residual a los cuerpos receptores, así como salvaguardar la inversión considerable evitando dejar plantas de tratamiento o parte de ellas inoperante.

Aproximadamente el 65% de las plantas de tratamiento de aguas que existen en el país, operan de manera deficiente, debido a:

- Los problemas en su diseño,
- Una limitada atención en su operación
- Crecimiento de la industria (rebase la flexibilidad de los tratamientos)

De aquí surge la importancia de aprovechar al máximo el tratamiento de agua residual tratada para uso industrial, lo que permitirá hacer un uso ecoeficiente de los recursos tanto renovables como no renovables, apoyando así, el manejo sustentable de agua en la zona.

2.6.2 Beneficios Sociales

Los costos anuales por morbilidad en niños debido a enfermedades diarreicas son de 0.03 billones de dólares, según el método de capital humano de Margulis en su " Back of the envelope estimates for environmental damage costs in México", el autor menciona que el método puede aplicarse a cualquier país.

Como en cualquier análisis costo-beneficio, en el tratamiento de aguas residuales, los costos aparentemente son mayores que los beneficios, pero si de alguna forma se pueden estimar más precisamente los beneficios de salud (reduce riesgos por enfermedades), beneficios de uso doméstico (cantidad suficiente para mejorar la higiene), beneficios de uso industrial (reduce costos de proceso de tratamiento y enfriamiento de agua de uso industrial), beneficios en la ganadería (reducción de enfermedades de los animales por ingesta de agua contaminada), beneficios pesca (aguas más limpia mejora producción y precio más bajo a los consumidores), beneficios agricultura (efectos positivos en cultivos con agua no contaminada), beneficios Recreación (beneficios para la gente que usa esta agua en paseos en bote, comidas en campo, etc), beneficios corrosión, (fuentes contaminadas afectan la dureza y la corrosión de tuberías) y beneficio existencia (biodiversidad).

Si pudiéramos cuantificar todos los anteriores beneficios, es muy probable que los beneficios fueran mayores que los costos [26].

2.7. Condiciones a Futuro.

Los retos a futuro son enormes. De acuerdo con estimaciones de WWC (World Water Council, 2000) [16], si se mantienen las condiciones actuales, es decir, si se continúa procediendo como hasta ahora, para el año 2025, la mayoría de los países actualmente en desarrollo padecerán de escasez de agua.

México se enfrentaría a una escasez física, es decir la carencia real del recurso. De acuerdo con el más reciente reporte del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés), en el que se aborda la problemática regional, en América Latina el calentamiento global exacerbará la escasez periódica que ya ocurre en zonas áridas y semiáridas, por razones sociales y económicas, los países en desarrollo serán especialmente sensibles a este aumento de periodos de escasez.

Hay pocos estudios de los efectos del calentamiento global en los recursos hidráulicos de México debido a la falta de recursos suficientes para llevarlos a cabo. El Instituto Mexicano de tecnología de Agua (IMTA), utilizando un modelo de simulación biológica (DSSAT), calibrado en Chihuahua, con el apoyo de los agricultores de Delicias, durante un ciclo agrícola se analizaron los efectos del calentamiento global en ese sitio y en el distrito de riego del Yaqui, Sonora, en la población de maíz. Se encontró que podría aumentar la producción si hubiese agua suficiente, sin embargo, las necesidades hídricas de los cultivos se incrementaron de manera importante, ya que se requerirían 350 km³ adicionales, a los que actualmente se requieren para la producción de maíz en el distrito [16].

México, ya tiene importantes avances al respecto, alcanzar esta visión requerirá, de todas maneras, de un gran esfuerzo. Por ejemplo, en abastecimiento de agua potable se sabe que existen hoy día alrededor de 12 millones de habitantes que carecen de ella y para el año 2025 habrá otros 25 o 30 millones de nuevos mexicanos. En cuanto al saneamiento, para alcanzar la visión planteada se requerirá abastecer a 36 millones de personas más con agua potable, esto sin mencionar la necesidad de mejorar la calidad del servicio. La CNA estima que para alcanzar en el año 2025 un escenario deseable se requerirán inversiones aproximadas a los 725 millones de pesos, lo que es una cifra mucho mayor que la que se alcanzaría si se mantienen las actuales tasas de inversión destinadas al sector agua, en la tabla 16 se presenta la comparación del escenario tendencial y el sustentable.

El abastecimiento de agua al ritmo de la demanda creciente, en las regiones donde se localiza el mayor volumen de extracción y de mayor dinámica por la actividad económica y crecimiento poblacional, cada vez es más caro y complejo. Los costos promedio de extracción, suministro, potabilización y tratamiento se incrementan en los sitios de escasez relativa y donde existe contaminación. Se estima que la inversión requerida para agregar un m³ de suministro anual durante el periodo de 1976-1996 fue en promedio 2.5 veces mayor que la que se necesitó en el periodo de 1950-1975 (precios constantes de 1996) [15].

La tabla 16. Comparación de los escenarios tendenciales y el sustentable para el año 2025.

Parámetro	ESCENARIOS		
	2000	2025 (Tendencial)	2025 (Sustentable)
Hectáreas Modernizadas	0.8 millones	1.1 millones	5.8 millones
Nuevas hectáreas con riego		490 mil	1 millón
Pérdidas de riego	54%	51%	37%
Pérdidas de uso público urbano	44%	44%	24%
Cobertura de agua potable	88%	88%	97%
Cobertura de alcantarillado	76%	76%	97%
Porcentaje de aguas residuales tratadas	23%	60%	90%
Volumen de agua utilizada (miles de millones de metros cúbicos).	72*/79	85*/91	75*/80
Inversión anual del sector (miles de millones de pesos de 2000)	14	16	30

Fuente [13] * con restricciones en la demanda de riego por sequía

3.- Normatividad

El principal instrumento jurídico que regula la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas propiedad de la nación, así como la preservación de su calidad, es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917; en su artículo 27 señala que las tierras y aguas comprendidas dentro del territorio nacional corresponden originalmente a la nación, la cual ha tenido y tiene derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.

En el caso de las aguas nacionales, el propio precepto señala que el dominio de la nación es inalienable e imprescindible y que su exportación, uso o aprovechamiento por los particulares, sólo podrá llevarse a cabo mediante concesión que otorgue el Ejecutivo Federal, conforme a las leyes correspondientes.

A partir de enero de 1926, con la ley sobre la irrigación con aguas federales, se inició la acción formal del Gobierno Federal para incrementar la producción agrícola mediante la construcción de obras de riego. En el mismo año, de acuerdo con las disposiciones de esta ley, se creó la Comisión Nacional de Irrigación, dependiente de la antigua Secretaría de Agricultura y Fomento, organismo que durante aproximadamente 20 años se dedicó al fomento y construcción de obras hidráulicas y al establecimiento de las bases para la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas de propiedad nacional. En 1934 se expidió la Ley de Aguas de Propiedad nacional, que con algunas reformas estuvo vigente hasta 1971.

En 1947 se expidió la Ley Reglamentaria del párrafo quinto del artículo 27 Constitucional en materia de Aguas del Subsuelo, que se ocupó de sentar las bases para establecer zonas vedadas y reglamentar la extracción de aguas subterráneas, con lo que el Gobierno Federal asume el control de las aguas del subsuelo.

La Ley Federal de Ingeniería Sanitaria se promulgó en 1948, declaró de utilidad pública la planeación y construcción de obras de agua potable, autorizando a la Secretaría de Recursos Hidráulicos para intervenir en ellas cuando la construcción fuere costeadada o avalada por el Gobierno Federal [27].

3.1 Ley Federal de Aguas

El 30 de diciembre de 1971 se expidió la Ley Federal de Aguas y se publica en el Diario Oficial de la Federación al año siguiente; abrogó todas las anteriores y actualizó y adaptó sus contenidos a las necesidades de la época. En esta Ley se fijaron también normas para realizar las obras de provisión de agua destinada a usos urbanos.

Con el fin de prever los requerimientos de agua para el desarrollo industrial del país, se otorgaron las concesiones y asignaciones de los volúmenes de agua necesarios, previamente a los permisos para los establecimientos de las industrias, con objeto de

evitar concentraciones Industriales donde los recursos hidráulicos eran escasos, o ya estaban comprometidos.

En virtud de que las aguas subterráneas son cada vez más importantes como fuente de abastecimiento para todos los usos, y que en muchas zonas áridas del territorio son la única fuente de abastecimiento, se replanteó la infiltración directa de aguas que reabastecieran los acuíferos y se hizo necesario un mayor control sobre los mantos subterráneos que requería de un nuevo tratamiento jurídico fundado en el principio general de la prevalencia de los intereses y usos colectivos del agua sobre los intereses y usos particulares.

Durante 14 años estuvo vigente la Ley Federal de Aguas, sin que el Poder Legislativo dictara ninguna reforma sustancial. Sin embargo, la naturaleza con ambiente creciente de las necesidades de la población, así como la continua evolución de los factores tecnológicos, económicos, sociales y políticos que intervienen en el aprovechamiento del agua provocaron que los problemas de escasez y contaminación se agudizaran. Ello dio lugar a situaciones no previstas por la legislación o bien a la necesidad de imponer un mayor dinamismo a los instrumentos de regulación y control. Ante estas circunstancias, la legislación para la administración continua. No obstante, desde 1972 no se generaron nuevas leyes.

En el DOF del 13 de enero de 1986 se publicó el decreto en el cual el H. Congreso de la Unión aprobó las reformas y adiciones a la citada ley, las cuales se hicieron con el fin de actualizar y adecuar – sin cambiar la estructura general de la ley- los instrumentos jurídicos a las necesidades de una administración eficiente del agua.

Las Normas Oficiales, marcan las características que deben cumplir las descargas. Sin embargo, existe una iniciativa por parte de la CNA para modificar la normatividad por una más flexible, esto es debido a que no se han logrado las metas, ni en salud pública, ni ambientales a las que se pretendía llegar al emitir estas normas.

En la tabla 17, se muestran los límites permisibles para contaminantes básicos, tóxico y patógenos, los cuales están en función de los cuerpos receptores de la naturaleza del cuerpo y del uso del agua.

Tabla 17. Límites permisibles para contaminantes.

Cuerpo Receptor	Uso del Agua	Nivel
Ríos	Abasto público	B
	Riego agrícola	A
Lagos y embalses naturales y artificiales	Abasto público	C
	Riego agrícola	B
Aguas costeras	Recreación	B
	Explotación Pesquera, navegación y otros usos	A
	Estuarios	C
Suelo	Acuífero de alta vulnerabilidad	C
	Acuífero de baja vulnerabilidad	A

Niveles máximos de contaminantes no definidos, A: básico, B: tóxicos, C: patógenos.

3.2 Normas Oficiales Mexicanas

3.2.1 Normas Oficiales Mexicanas Ecológicas

El Instituto Nacional de Ecología y La Comisión Nacional del Agua expidieron en forma coordinada tres Normas Oficiales Mexicanas para la prevención y control de la contaminación del agua. La nomenclatura cambió de ECOL a SEMARNAT de acuerdo con las modificaciones de nomenclaturas especificadas en el Diario Oficial de la Federación del 3 de Abril de 2003.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el DOF el 6 de enero de 1997.

NOM-002-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, publicado en el DOF el 3 de junio de 1998

NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Se publicó en el DOF el 21 de septiembre de 1998.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Se publicó en el DOF el 15 de agosto del 2003

3.2.2 Normas Oficiales Mexicanas del Sector Agua [11].

La Comisión Nacional del Agua a través de su Comité Consultivo nacional de Normalización del sector agua, expide Normas Oficiales Mexicanas en la materia, mediante las cuales ejerce las atribuciones que le confiere la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, como son aprovechar adecuadamente y proteger el recurso hídrico nacional. Dichas normas establecen las disposiciones, las especificaciones y los métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios ofertados a los organismos operadores de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad y manejar adecuada y eficientemente el agua, en la referencia [11] se encuentran las normas oficiales mexicanas vigentes.

3.2.3 Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de Salud.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin

de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega del consumidor.

Por estas razones la Secretaría de Salud en coordinación con la CNA y otras entidades gubernamentales han elaborado Normas Oficiales Mexicanas-SSA [11].

En cuanto a la administración de las aguas residuales, La Ley de Aguas Nacionales establece que para utilizar las aguas nacionales es necesaria una concesión o una asignación, y para descargar las aguas residuales se requiere permiso de descarga, ambos, expedidos por la CNA. Los títulos de concesión y asignación, así como los permisos de descarga se inscriben en el Registro Público de Derechos del Agua (Repda).

3.3 Normatividad para las Descargas de Aguas Residuales.

La Preservación de la calidad y cantidad de agua de los ríos y cuencas naturales, requiere de un uso racional del recurso y de un control de las descargas de las aguas residuales, para la cual la Comisión Nacional del agua ha dividido al país en diferentes zonas para el cobro de derechos por el uso de este recurso. En el caso de la ciudad de México, (Zona 1), es obligación pagar derechos por descargas de aguas residuales de la industria en general, con lo que se pretende obligar a la empresa a realizar la construcción de plantas de tratamiento en lugar de pagar por la descarga de aguas residuales fuera de límites establecidos [28].

3.4 Protección de Mantos Acuíferos Sobre explotados.

Con el afán de proteger los mantos acuíferos sobre explotados, se establecen decretos de veda haciendo énfasis en la fijación de volúmenes de extracción máximos y los usos permitidos, posteriormente se reforzaron las obligaciones de medición de descargas, de cumplimiento de las normas de calidad exigidas, y pago de cuotas conforme a la Ley Federal de Derechos. En realidad las cuotas y tarifas no reflejaban su costo real, favoreciendo el desperdicio de agua. Por tal motivo, en las reformas a la ley Federal de Aguas se fortaleció la obligación del pago de cuotas.

Capítulo 4 Precios del Agua

4.1 Precios del Agua Municipal Tratada

Históricamente, la primer aplicación de reuso del agua fue para riego que consumía mas del 65% del agua tratada, para esta aplicación sólo es necesario un tratamiento primario, por lo cual el precio de esta agua municipal tratada es de \$ 0.10 USD, en esta tesis se considera este precio en el análisis económico. Aunque podría considerarse, que algunos municipios tuvieran la capacidad de ofrecer el efluente de un proceso secundario, cuyo precio podría ser hasta \$0.2 USD. [17].

4.2 Derechos por Descarga de Aguas Residuales

Para el cobro de derechos por descargas de aguas residuales, los cuerpos receptores (ríos, lagos, lagunas, etc.) se clasifican en tres tipos: A, B y C. Los cuerpos receptores C son aquellos en los que la contaminación tiene mayores efectos. La lista de cuerpos receptores que pertenecen a cada tipo se encuentran en la Ley Federal de Derechos en materia de Descarga, en la tabla 18 se muestran dichas cuotas.

Tabla 18. Cuotas por descarga de aguas residuales

Contaminante	Tipo de cuerpo receptor		
	C	B	A
Pesos / m ³ de agua residual			
Coliformes Fecales	0.48	0.48	0.97
Potencial de hidrogeno	0.04 a 1.34	0.04 a 1.34	0.04 a 1.34
Pesos / kg. de contaminante			
Grasa y aceites	0 a 5.68	0 a 4.73	0 a 2.65
SST	0 a 5.68	0 a 4.73	0 a 2.65
DBO5	0 a 5.68	0 a 4.73	0 a 2.65
Nitrógeno Total	0 a 5.68	0 a 4.73	0 a 2.65
Fósforo total	0 a 5.68	0 a 4.73	0 a 2.65
Arsénico	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Cadmio	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Cianuros	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Cobre	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Cromo	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Mercurio	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Níquel	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Plomo	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23
Zinc	0 a 193.23	0 a 193.23	0 a 193.23

Fuente Ley Federal de Derechos, Art. 278-c, 2003

4.3 Tarifas del Agua en México

Durante mucho tiempo en nuestro país, el sector industrial no pago por usar o aprovechar el agua como insumo en sus procesos de producción. No es sino hasta mediados de los años ochenta que comenzó a cobrarse el derecho por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales. El precio del agua, al igual que el de otros bienes producidos o administrados por el sector público, no reflejaba una correcta valuación social del bien. En este contexto las autoridades del sector hidráulico concibieron el precio del agua como un instrumento que permitiera cumplir con dos objetivos:

- 1) Reducir el déficit presupuestario del sector, a través del incremento de la recaudación por concepto del pago del derecho por uso o aprovechamiento de aguas nacionales.
- 2) Impedir el agotamiento de los mantos acuíferos, al moderar el consumo del agua.

A partir de 1988, empezaron a producirse continuos incrementos, con lo cual se observó un aumento directamente proporcional en momentos de la recaudación, cumpliéndose a tiempo las metas programadas en cada año y resolviéndose a favor del déficit financiero inicial [29].

Sin embargo esta situación duró poco tiempo, pues en la década de los noventas, no obstante que se produjo un aumento sustancial en las tarifas del agua llegando a ser en algunos casos hasta del 1,300% en términos nominales, la recaudación no aumentó proporcionalmente e incluso disminuyó en términos generales. La tendencia decreciente mostrada en la recaudación ha provocado la aparición del déficit financiero del sector hidráulico.

El precio del agua puede funcionar como un instrumento efectivo para reducir el consumo de agua en la industria. Sin embargo, tal vez porque la participación del costo del agua, en los costos totales de producción de las empresas resulta muy baja, casi no existen estudios sobre la demanda del agua en la industria [30].

Urge establecer una política tarifaria que permita, en primer lugar, captar una mayor cantidad de recursos financieros para enfrentar el programa de ampliación de coberturas y rehabilitar la infraestructura hidráulica marginal de costos, en la que el usuario que más agua utilice pague más y que ayude a cubrir los aspectos sociales involucrados en los servicios del agua [31]. Cada municipio puede establecer sus propias tarifas por los servicios. En algunos casos éstas se aplican a un conjunto de municipios y en algunos estados las tarifas tienen cuota fija como es el caso de Puebla y Campeche.

Después de las ciudades turísticas, son las ciudades fronterizas la que tienen el precio unitario promedio más alto y le siguen en orden las ciudades industriales. Cuando se incrementa el precio del agua tanto para uso doméstico e industrial, siempre es mayor en tres ó cuatro veces más en las grandes urbes [15]. La tabla 19 muestra las tarifas para uso doméstico en varios estados del país y en la tabla 20 se presentan las tarifas promedio para uso industrial.

Tabla 19, Tarifas para uso doméstico en las principales ciudades del país (2004)
(tarifa para un consumo de 25 m³/mes)

Municipio o localidad	Tarifa uso doméstico (pesos /m ³)	Rango (m ³ /mes)	Cuota base (pesos)
La Paz	8.55	0 a 17	46.37
León	8.31	0 a 5	43.75
Tijuana	7.52	0 a 5	32.48
Aguascalientes	6.36	0 a 10	71.73
Monterrey	5.55	0 a 10	22.50
Cancún (Benito Juárez)	5.40	0 a 10	35.40
Puebla	5.04	0 a 15	40.35
Tlaxcala	4.58	0 a 15	52.71
Chihuahua	4.37	0 a 10	54.53
Querétaro	4.36	0 a 1	11.59
Durango	4.09	0 a 10	28.39
Mérida	3.60	0 a 10	19.00
Hermosillo	3.59	0 a 10	25.27
Cuernavaca	3.38	0 a 60	84.60
Guadalajara	3.24	0 a 17	31.44
Toluca	2.98	0 a 12.5	23.17
Chilpancingo	2.95	0 a 10	23.00
San Luis Potosí	2.79	0 a 5	8.16
Mexicali	2.68	0 a 5	22.83
Xalapa	2.67	0 a 10	18.78
Distrito Federal	2.45	0 a 5	6.37
Colima	1.83	0 a 15	21.00
Morelia	1.18	0 a 15	17.40
Campeche	1.04	Cuota fija	26.00
Villahermosa	0.78	Cuota fija	15.00

Fuente [11]

Tabla 20 Tarifas promedio para agua de uso Industrial por entidad en (pesos /m³)

Estado	Mínima	Máxima
Nuevo León	5.2	15.6
San Luis Potosí	7.5	18.8
Sonora	8.8	12.4
Distrito Federal	6.9	33.2
Tamaulipas	3.8	7.7
Sinaloa	5.4	10.3

Fuente [32]

Capítulo 5

Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales para Alimentación a Calderas.

5.1. Esquema General de Tratamiento de Aguas Negras

A finales de los 50's se inició el tratamiento formal de las aguas residuales y se construyó la primera planta de tratamiento de lodos activados para las aguas municipales de la Ciudad de Morelia, Michoacán. Entre 1926 y 1987, se construyeron alrededor de 100 sistemas lagunares.

Para la segunda mitad de los años setenta y principios de los ochenta, las principales preocupaciones eran la carga orgánica y la presencia de sólidos en los efluentes, así como sus efectos en las corrientes. También en esta década, se evaluaron y caracterizaron las aguas residuales de algunos sectores industriales y se recomendaron métodos de tratamiento. A principios de los años setenta se realizaron los estudios sobre tratamiento de las aguas residuales provenientes de las refinerías y de la industria petroquímica, hasta 1981 se establecen como parámetros a controlar la temperatura, el pH, los sólidos sedimentables, la materia flotante, las grasas y aceites.

Tabla 21 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales

Tipo de proceso	% de agua tratada
Lodos Activados	39.5
Otros	27.0
Lagunas de estabilización	18.3
Lagunas airadas	7.1
Filtros Biológicos	3.8
Zanjas de oxidación	3.5
Tanques Imhoff	0.8

Fuente [11]

En la tabla 21 se presentan los tipos de proceso que son usados en los tratamientos de aguas residuales, así como el porcentaje de agua que se trata con dichos procesos.

La opción de las operaciones para el tratamiento de agua depende de la calidad y variabilidad de la calidad del agua cruda y los objetivos para el tratamiento, cada una puede variar por industria.

Al hablar de contaminación en cuerpo de agua generada por la industria o doméstica se aprecian dos aspectos: el primero es el hecho de que casi se tiene contaminación convencional, es decir, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química bioquímica de oxígeno (DQO), grasas, aceites, sólidos en todas sus formas, etc; el segundo, que también existe la contaminación por sustancias tóxicas. Este hecho le da una característica diferente al problema ya que la tecnología disponible para remover la

contaminación convencional no siempre funciona de manera eficiente para las sustancias tóxicas. Lo cual obliga a analizar métodos de tratamiento tanto convencionales como avanzados [33].

Las Operaciones Unitarias que pueden ser incorporadas en una planta de tratamiento de aguas residuales son:

- Tratamiento previo (tamizado, cribado, eliminación de arenas y sólidos grandes.
- Flotación con aire disuelto.
- Desengrasado
- Tratamiento biológicos aeróbicos y anaeróbicos
- Sedimentación.
- Desinfección
- Coagulación –floculación – sedimentación
- Filtración
- Tratamiento químico (suavización con cal en frío, precipitación de metales pesados, etc.)
- Intercambio iónico
- Precloración o preoxidación
- Recarbonatación
- Ósmosis inversa
- Electro diálisis

5.1.1 Aeración en Tratamiento de Aguas Residuales

La aplicación primaria de aeración de aguas residuales es el suplir el oxígeno a los procesos de tratamiento biológico aeróbico, los principales propósitos y efectos de la aireación en el tratamiento de aguas residuales son las siguientes:

Crecimiento de algas. Los sistemas de aireación al aire libre y los rayos del sol promueven el crecimiento de algas que pueden producir mal olor y sabor en el agua causados por compuestos en descomposición en la distribución del sistema. La aireación generalmente es un eficiente método para resolver el sabor y el olor que producen los componentes por las algas ya que los aceites de las algas son los causantes del olor y sabor.

Dióxido de carbono. La alta solubilidad del CO_2 reduce el pH del agua, que causa un alto consumo de cal u otros agentes de neutralización en los procesos de coagulación y ablandamiento. El CO_2 sólo puede ser removido (convirtiéndose en bicarbonatos) por la adición de cal. Se recomienda la aireación si las concentraciones del CO_2 son mayores a 10 mg/l.

Corrosividad. La adición de oxígeno al agua hace que ésta sea más corrosiva, la remoción del CO_2 tendrá un efecto benéfico para elevar el pH.

Sulfuro de hidrógeno. La solubilidad de este compuesto es muy alto por su habilidad de reaccionar con agua y formar los iones HS^- y S_2^{2-} . La alta concentración de sulfuro de hidrógeno puede ser letal. La remoción de éste no es rápida como la remoción del bióxido de carbono.

Metano. El metano puede hacer presencia en algunas aguas con concentraciones significantes, es muy soluble en agua y esta presencia provoca riesgo de explosión.

Materia orgánica. La oxidación de la materia orgánica y otras sustancias inorgánicas causan demanda de oxígeno que será agotado sólo con una extensión muy limitada de la adición de oxígeno a través de la aeración. Esta no es una razón para el diseño de un sistema de aeración.

5.1.2 Tratamiento Biológico Aerobio

El tratamiento biológico en aguas de desecho es principalmente usado para la remoción de materia orgánica coloidal y solutos.

El tratamiento biológico es un proceso "natural". La materia orgánica en el agua dulce es el resultado de la presencia de microorganismos en los cuerpos receptores del agua.

Las bacterias son el principal agente de tratamiento en cualquier proceso biológico. Tomado como un todo, sus características diversas y requerimientos de mínimo crecimiento permite la proliferación en aguas residuales. Los procesos aeróbicos son usualmente operados con baja concentración de oxígeno disuelto (DO) .

Los virus también están presentes en los procesos de tratamiento biológico pero no tienen importancia en la remoción de compuestos orgánicos. Las levaduras y hongos no son comunes en los procesos de tratamiento para las aguas residuales. La aparición de hongos, en particular no es benéfico para el tratamiento porque hace más difícil separarlos de las aguas residuales y deteriora la calidad del efluente [34].

5.1.3 Tratamiento Anaeróbico.

El tratamiento anaeróbico, en contraste con el tratamiento aeróbico, no requiere entrada de aire y genera considerablemente muy pequeñas cantidades de lodo. El tratamiento anaeróbico puede requerir cantidades sustanciales de energía calorífica en la entrada, pero esta energía puede ser desplazada por el metano producido, éste es uno de los métodos o circunstancias que reduce el requerimiento de energía. El biogás (metano) es un rasgo del tratamiento anaerobio que ha sido promovido como una solución para los problemas de energía. La industrias de comida y bebida, por ejemplo, producen desechos que son ricos en contenido orgánico que tienen temperatura superiores, a la de la temperatura ambiente.

En décadas recientes, han transcurrido desarrollos que han incrementado gradualmente la eficiencia energética y tratamientos anaeróbica para los desechos.

En aguas residuales, no necesariamente por diseño, el tratamiento anaeróbico ocurre en cualquier tanque, incluyendo pozos negros y tanques sépticos, los sólidos son metabolizados y solubilizados en el tratamiento anaeróbico. Los sólidos son fácilmente colectados para formar un concentrado muy alto de basura y la reducción de los sólidos fue el primer paliativo de tratamiento que se conserva hasta nuestros días.

En el metabolismo anaeróbico no hay oxígeno presente o consumido durante un proceso anaeróbico [35].

5.1.4 Coagulación.

La Coagulación es la pérdida de estabilidad de partículas coloidales. Las partículas son químicamente cubiertas por una capa pegajosa que permite la floculación (aglutinación) y en un periodo de tiempo, los cationes sintéticos, aniónicos y polímeros no iónicos, son coagulantes muy efectivos pero son más costosos que los componentes naturales.

La coagulación y floculación ambas son usadas para tratamientos de agua, son efectivas para remover coloides y partículas que se establezcan lentamente.

La tabla 22 enlista el poder relativo de las sales más comunes en la coagulación.

Tabla 22. Sales más comunes en la coagulación

Electrolito	Poder Relativo de Coagulación	
	Coloides Positivos	Coloides negativos
NaCl	1	1
Na ₂ SO ₄	30	1
Na ₃ PO ₄	1000	1
BaCl	1	30
MgSO ₄	30	30
AlCl ₃	1	1000
Al ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000
FeCl ₃	1	1000
Fe ₂ (SO ₄) ₃	30	>1000

Fuente [36]

5.1.5 Filtración

Es un proceso de separar un sólido (como precipitado) del líquido en el que está suspendido al hacerlo pasar por un medio poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente. La filtración es un proceso básico en la industria química que también se emplea para fines como la preparación de café, la clarificación del azúcar o el tratamiento de aguas residuales. El líquido a filtrar se denomina suspensión, el líquido que se filtra, el filtrado y el material sólido que se deposita en el filtro se conoce como residuo.

En los procesos de filtración se emplean cuatro tipos de material filtrante: filtros granulares como arena o carbón triturado, láminas filtrante de papel filtro o trenzados de tejidos y redes de alambre, filtros rígidos como los formados al quemar ladrillos o arcilla(barro) a baja temperatura y filtros compuestos de membranas semipermeables o penetrables como las animales [5].

Los sólidos suspendidos y el material coloidal presentes en el agua son un problema importante para la ósmosis inversa [37, 38]. Pues la materia coloidal bloquea físicamente la membrana, reduciendo la superficie útil de filtración, produce fenómenos de

ensuciamiento y otros canales de paso, esto va en detrimento de la producción, presión de operación.

El ensuciamiento por material suspendido puede solucionarse con limpieza química, pero esta limpieza no regenera la capacidad de producción ni la presión del sistema. Por ello se requiere especial cuidado en el diseño del sistema, particularmente en el mantenimiento de un flujo mínimo de rechazo, de manera que la velocidad tangencial mantenga esfuerzos cortantes que inhiban el ensuciamiento y el bloqueo de la superficie [39]. Recientemente se ha empleado la tecnología de Micro filtración y Ultra filtración como pre tratamiento para sistemas de ósmosis inversa, en procesos con aguas residuales.

5.2 El Estado del Arte en Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

5.2.1 Procesos de Desmineralización por Intercambio Iónico

Las tecnologías de desmineralización o desalinización del agua son muy variadas en función del grado de calidad esperado en el agua tratada y pueden resumirse en los siguientes grupos: a) Evaporación, b) Ósmosis Inversa, c) Nanofiltración, d) Electrodialisis y e) Intercambio Iónico.

En virtud de que el propósito de esta tesis no consiste en explicar estas tecnologías, únicamente se dará una breve descripción de aquellas aplicables a este trabajo, particularmente, la evaporación, nanofiltración y electro diálisis que usado en aplicaciones de capacidad pequeña, son tecnologías que no tienen aplicación el caso de estudio considerado.

El Intercambio Iónico elimina prácticamente la totalidad de los sólidos minerales disueltos y la osmosis inversa ha venido a competir con ella en diversa aplicaciones [37].

Teóricamente hablando, el agua posee una conductividad eléctrica de 0.055 micromohs por cm y en términos generales la calidad demandada en aplicaciones de muy alta pureza se especifica normandamente en una conductividad de 0.1 micromohs/cm la cual equivale a una cantidad de 18 microgramos por litro de cloruro de sodio [37].

Esta calidad es alcanzable en forma económica únicamente por medio del intercambio iónico o por una combinación de procesos de desalinización empleando obligatoriamente el intercambio iónico en la etapa final o de pulimento.

5.2.1.1 Resinas de Intercambio Iónico

Hasta los años cuarenta las zeolitas naturales eran los únicos cambiadores de iones disponibles. A partir de entonces las zeolitas naturales han sido sustituidas por resinas sintéticas tales como estireno y divinilbenceno. Estas resinas son polímeros insolubles a los que se añaden grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas, estos grupos son capaces de un intercambio reversible con los iones presentes en una disolución. El número total de grupos funcionales por unidad de peso de resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad iónica y

la posición del equilibrio del intercambio. Existen dos tipos de resinas intercambiadoras iónicas: catiónicas y aniónicas.

5.2.1.2. Resinas Catiónicas.

Este tipo de resinas separan los cationes de una solución, intercambiándolos por iones de sodio o por iones hidrógeno. Los iones quedan retenidos sobre la resina y se produce un efluente blando. Este efluente contiene principalmente iones de sales de sodio (si se emplea en ciclo de sodio) ó ácido (si se emplea el ciclo de hidrógeno).

De acuerdo a las especificaciones técnicas cuando la capacidad de la resina se agota, se deberá retrolavarse, regenerarse y enjuagarse para poder ser reutilizada.

5.2.1.3. Resinas Aniónicas

Las resinas aniónicas separan aniones de una solución intercambiados por iones oxidrilo. La regeneración se hace después de la ruptura, normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólidos. Los regenerantes normalmente usados son hidróxidos de sodio y amonio [40].

Las nuevas tecnología de resinas, han generado resinas aniónicas, con estructura acrílica, muy resistentes al daño por materia orgánica de alto peso molecular (ácidos fúlvico y húmico) [41]. La estructura alifática de las resinas acrílicas las hace hidrofílicas en comparación con las resinas convencionales de matriz estirénica. Por lo tanto, la selectividad de la matriz acrílica por la materia orgánica es inferior a la de una matriz estirénica, mientras que la mayor velocidad de reacción debida a la matriz acrílica permite una adsorción superior de materia orgánica sin los efectos de la reversibilidad observados en resinas estirénicas.

5.2.1.4 La Materia Orgánica en el Tratamiento de Agua y su Influencia en las Resinas.

La materia orgánica puede presentar efectos diversos y nocivos en los sistemas y equipos de una instalación industrial, son tan variados como la formación de películas y crecimientos bacterianos, obstrucción de proceso, obstrucción o corrosión. La materia orgánica juega un papel importante en los sistemas de desmineralización, específicamente sobre las características operativas, de vida útil y de capacidad de las resinas aniónicas.

Los problemas intrínsecos de la materia orgánica en circuitos de vapor y generación de potencia están fuera del alcance de este estudio, pero están bien documentados en diversas fuentes [42].

La materia orgánica la podemos clasificar en Insoluble y soluble, algunos ejemplos de materia orgánica insoluble son: escombros de origen vegetal y mineral, microorganismos, materia aceitosa, materia húmica, etc.

Algunos ejemplos de materia orgánica soluble pueden ser: materia húmica, proteínas, aminoácidos, azúcares, sacáridos, compuestos orgánicos sintéticos, gases orgánico disueltos, extracto solubles de origen animal o vegetal, etc. La materia orgánica insoluble puede ser removida por una clarificación o filtración.

El termino de ácido húmico generalmente se refiere a la fracción de materia orgánica de tierras que son solubles en soluciones alcalinas pero insolubles en soluciones ácidas o alcohol etílico. La parte de los ácidos solubles es convencionalmente llamada ácido fúlvico, y el material el que es precipitado por el ácido pero soluble en alcohol etílico es llamado ácido hymatomelanico. El ácido fúlvico contiene más oxígeno y menos nitrógeno que el ácido húmico [43].

Las sustancias húmicas conforman un grupo extraordinariamente complejo de compuestos orgánicos cuya estructura no está plenamente definida y que se consideran materiales amorfos de alto peso molecular y poseen una estructura multifuncional.

Para fines prácticos se ha definido una subdivisión de la materia húmica en: a) La fracción soluble constituida por ácidos fúlvico, b) la fracción constituida por los ácidos húmicos.

La interacción entre la materia húmica, las arcillas en suspensión y la sílice es bien conocida para explicar el equilibrio de los materiales en suspensión y consiste básicamente en la formación de complejos estables que se mantienen en suspensión gracias a las fuerzas electrostáticas que estabilizan el material coloidal.

Así mismo, la materia húmica interactúa dinámicamente con otros componentes orgánicos disueltos y en suspensión, como puede ser los péptidos, las proteínas, los aminoácidos y los carbohidratos por medio de mecanismos de coordinación y de adsorción de dichos componentes sobre la red cristalina formada en la materia húmica [22].

Algunas aguas contienen materia orgánica a tan alto nivel que la concentración orgánica se aproxima o excede la concentración de los compuesto inorgánicos. En general, aunque las aguas contengan bajo contenido de materia orgánica, usualmente las superficiales contienen mayor cantidad de materia orgánica.

También la sílice es considerada como un problema en el tratamiento de aguas como lo es la materia orgánica cuya similitud con la sílice, es que engloba al análisis de agua en un completo análisis. La materia orgánica no entra en el balance requerido por la Ley de Electro neutralidad, sin embargo, mucha materia orgánica es un iónico débil natural, y debería entrar en el balance de anión/catión cuando esté presente en grandes cantidades.

La presencia de materia orgánica en el agua tiene severas consecuencias, dependiendo del uso para el cual va a ser tratada. El caso de ser para vapor la materia orgánica presente en la alimentación de la caldera puede tener consecuencias debido a la acidez generada durante la degradación térmica de compuestos orgánicos en la caldera.

Hay muchas instancias en donde la acumulación de materia orgánica en las resinas de intercambio iónico ha interferido la eficiencia de estas resinas utilizadas para la remoción de aniones inorgánicos.

Los métodos para remover la materia orgánica del agua son altamente variados y abarcan casi todas las prácticas para tratamientos de agua, incluyendo clarificación, intercambio iónico, tratamiento con carbón, absorbentes poliméricos, procesos de membrana y destilación. Otro de los problemas ocasionados por la materia orgánica es por ejemplo cuando los sistemas contienen resinas de intercambio, estas resinas son más eficientes cuando se remueve la capa de materia orgánica que envuelve a las resinas.

Estos problemas limitan el uso y la vida de las resinas de intercambio iónico, reduciendo sobre todo su efectividad. La materia orgánica presente en las aguas puede venir de una amplia variedad de compuestos orgánicos, algunos provenientes de descargas municipales y otros de descargas industriales. El término de materia orgánica representa literariamente cientos de compuestos orgánicos presentes en concentraciones de ppm.

5.2.1.5. Tecnología de Regeneración de intercambio iónico

La regeneración de resinas es una operación crítica y parte recurrente del mantenimiento del sistema, los factores clave son el consumo de los regenerantes químicos y el servicio del agua, la incidencia de la regeneración de efluentes, particularmente si estos incluyen manejo de desechos y tiempo de regeneración, el cual equivale al tiempo que el sistema tiene que estar fuera de servicio por regeneración.

Hay nuevas tecnologías con usos de químicos regenerantes más eficientes que disminuyen el volumen de desperdicio de agua, por lo tanto reducen la cantidad de efluente a post-tratar. Las comparaciones de sistemas a cocroriente y contracorriente han confirmado que introduciendo un regenerante químico dentro de las camas de resinas desmineralizadoras en dirección opuesta al flujo ofrece ventajas tangibles, es por ello que se selecciono el sistema a contracorriente para asegurar la compactibilidad de la cama de resina y una alta calidad del agua desmineralizada.

Esta tecnología está dividida en dos categorías operación flujo ascendente / regeneración flujo descendente y operación flujo descendente / regeneración flujo ascendente.

La regeneración flujo ascendente contracorriente está siendo más usada en desmineralizadores multicapa porque esto representa productividad y economía. Los sistemas de regeneración a contracorriente son 50% más rápidos, requiriendo menos químicos regenerantes y por lo tanto producen menos efluente, logrando mayor calidad de agua.

Todos lo sistemas en contracorriente comparten dos requerimientos básicos:

- a) Se debe mantener una zona altamente regenerada proporción a la cama de resina más cercana la salida del flujo de agua.
- b) La cama de resina permanece en paquete durante los ciclos de servicio y regeneración.

Estas necesidades impactan en la eficiencia, productividad y economía.

5.2.1.6 Cationes precursores de sales poco solubles.

El ejemplo clásico de estos son el calcio, magnesio, bario y el estroncio. Las sales de estos cationes, como carbonatos, sulfatos e hidróxidos son muy poco solubles y fomentan fenómenos de incrustación en el interior de los canales de paso de las membranas. Es una práctica común en aplicaciones de pH neutro, dependiendo de la concentración de dureza y de otros iones de este tipo, eliminar la alcalinidad del agua, por medio de la adición de un ácido fuerte (ácido sulfúrico o clorhídrico). Las consideraciones de diseño consisten esencialmente en mantener un índice de Langelier y un índice de Stephen-Davis negativo. En aplicaciones a pH alto, el problema es mucho más severo y se hace necesario la eliminación total de la dureza antes de la ósmosis inversa.

5.2.2 Ósmosis Inversa

Los factores que influyen en la ósmosis inversa son: a) Presión, b) Temperatura, c) Concentración de sal en la alimentación, d) Recuperación.

En el tratamiento de aguas residuales mediante ósmosis inversa, el influente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua residual. Este concentrado, posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga. Se obtiene agua purificada en el otro compartimiento.

Las membranas de acetato de celulosa son las mejores membranas semipermeables desarrolladas hasta la fecha.

5.2.2.1 Ósmosis Inversa de Alto pH.

La aplicación de los sistemas de ósmosis inversa son ampliamente usados no sólo en el tratamiento de aguas, sino también en el tratamiento de aguas residuales. La ósmosis inversa puede ser combinado con otras operaciones unitarias hasta lograra el grado de agua requerido o purificado de agua residual.

Una aplicación especial prometedora de Ósmosis Inversa de alto pH , es en combinación con evaporadores, y /o cristalizadores hasta lograr "cero descarga" del liquido [44].

Esta combinación puede dar en el blanco de las aproximaciones económicas para ciertas aguas residuales. En áreas áridas donde la evaporación natural es mas que la precipitación, la ósmosis inversa puede simplemente combinarse con una evaporación para alcanzar la cero descarga.

Hay importantes razones para favorecer operaciones a pH elevado. Primero, a valores de pH elevado se incrementa la solubilidad de la sílice, se puede usar las siguientes ecuaciones para calcular la solubilidad de la sílice en el agua en la ausencia de cationes divalentes y trivalentes

Solubilidad de la Silica = $(74.786 + 2.1154 (T\ C))(\text{Factor de corrección})$

Factor de Corrección = $1.825 - 0.118(\text{pH})$ donde $\text{pH} < 7$
 Factor de corrección = 1 (a $\text{pH} \geq 7.8$)
 Factor de Corrección = $10^{(-2.076 + 0.2656(\text{pH}))}$ a $\text{pH} 7.8 - 10.2$

5.2.2.2 Benéficos de la Operación Ósmosis Inversa de Alta Eficiencia (HERO) [45]

1. Operación a alto pH
2. La solubilidad de la sílice se incrementa drásticamente a pH elevados
3. Alto pH imparte carga negativa sobre la resistencia de las membranas
4. A alto pH los microorganismos son lisiados, matados o inactivados
5. A alto pH los aceites y grasas se saponifican limpiando la superficie activa en lugar de dañar la superficie de las membranas de ósmosis inversa.
6. No se requiere limpieza alcalina o es rara vez requerida. La limpieza ácida es reducida como también se remueve la dureza.
7. No requiere adición de anti-dañantes, dado que la tendencia al daño es reducida o eliminada.
8. No se requiere de adición de antiescalante, dado que la dureza se remueve y la sílice es soluble a alto pH, también remueve otros cationes trivalentes en el pretratamiento.
9. Los ácidos débiles (silícico, bórico, ácidos orgánicos) son más ionizados a alto pH y su rechazo se incrementa.

A pH neutral y 20 °C, la solubilidad de la sílice es cerca de 117 ppm mientras que alcanza 503 ppm a pH 10.2 y 820 a pH 11. La alta solubilidad a pH alto es una propiedad muy importante de las aguas residuales, usualmente cuando se tiene altos valores de sílice se recomienda operaciones de alto pH.

Muchos ciclos de concentración son importantes, dado que el volumen rechazado en la ósmosis inversa disminuye cuando los ciclos se incrementan.

Otros beneficios de la ósmosis inversa de alto pH incluyen la más alta demanda de oxígeno químico y el mas alto rechazo de la sílice, menor o no- daño biológico (crecimiento biológico en los equipos de ósmosis Inversa), alta tolerancia de la materia suspendida y menor daño orgánico (coloides y materia orgánica).

La operación convencional de alto pH, es especialmente diseñada para solubilizar sílica dañante de membranas, limpiando de compuestos orgánicos como los ácidos húmicos, y sanitizar la ósmosis inversa de crecimiento biológico [45].

La operación de ósmosis inversa de alto pH es compatible con membranas, estas pueden operar continuamente a pH de 11 sin dañar la membrana. Las membranas de poliamida son muy sensitivas al cloro residual, pero no preocupa debido a que las condiciones generadas por el alto pH sanitiza a la ósmosis inversa del crecimiento biológico y la coloración y la decoloración no son necesarias

Para la alta eficiencia de la ósmosis inversa se requiere remover los niveles de dureza, alcalinidad y CO_2 , se necesita un pH alto.

En los procesos convencionales se utilizan al menos dos de los siguientes procesos:

- Remoción de dureza
- Remoción de alcalinidad carbonato / bicarbonato
- Remoción de CO_2 disuelto

La remoción de la dureza se puede lograr con uno o más de los siguientes procesos:

- Suavización con cal
- Suavización con Zeolitas (Intercambio iónico ciclo de sodio)
- Intercambio catiónico ácido fuerte
- Intercambio catiónico ácido débil

5.2.2.3 Sílice

La sílice es probablemente uno de los mayores enemigos de la operación adecuada de los sistemas de ósmosis inversa, como consecuencia de la baja solubilidad de la sílice a condiciones de pH neutro. El ensuciamiento por precipitados de dióxido de silicio es altamente irreversible y representa el mayor riesgo operativo para este tipo de instalaciones.

En consecuencia, la concentración de sílice restringe el nivel de recuperación de las operaciones de ósmosis inversa de manera que la concentración máxima en el rechazo sea de 100 a 120 mg/l, que es la solubilidad a 25 °C y un pH de 7 [44].

Recientemente, gracias a las propiedades de solubilidad de la sílice, que a valores de 10 unidades es de aproximadamente 300 mg/l, se ha optado por la operación a condiciones de pH cercanas a 10 unidades [45].

Al eliminar el problema de límites de solubilidad de la sílice, es factible operar en sistemas de muy alta recuperación, en el orden del 90%.

Sin embargo, la operación a condiciones de tan alto pH implican la remoción total de la dureza existente en el agua cruda, así como la eliminación de otros cationes que producen sales poco solubles, como el bario, el estroncio y los metales como el hierro.

Por esa razón, los sistemas de alto pH van acompañados siempre de una etapa de suavización previa, ya sea por medio de resinas de intercambio iónico en ciclo sodio, regeneradas con cloruro de sodio; o por resinas catiónicas débilmente ácidas en equipos de de-alcalización [44].

Los sistemas de alto pH tienen por otro lado otras ventajas importantes ya que los micro organismos no pueden sobrevivir en condiciones de pH elevadas y el ensuciamiento orgánico es menor que en sistemas convencionales [46].

El bioensuciamiento es más problemático que el ensuciamiento por material coloidal o depósitos minerales.

5.2.3 Desinfección

Es la destrucción de microorganismos patógenos en el agua al ser esterilizada. La eficiencia para acabar con los microorganismos patógenos no está sólo en seleccionar el desinfectante, sin embargo, las características de un buen desinfectante son:

- Eliminador efectivo de microorganismos patógenos
- No tóxico para lo humanos o animales domésticos
- No tóxico para peces o especies acuáticas
- Fácil y seguro para su venta, transporte y distribución.
- Bajo Costo
- Fácil y fiable análisis del agua

Una forma de erradicar los microorganismos patógenos, es hirviendo el agua alrededor de 15 a 20 min. pero esto es mucho gasto de energía para ser usada en la desinfección de aguas de desecho.

Hay varios agentes que son efectivos para la desinfección, incluyendo oxidantes químicos, irradiación, tratamiento térmico, y tratamiento electroquímico. El cloro cumple con las características de un buen desinfectante. El desarrollo tecnológico en desinfección es producido en base a la coloración, incluyendo otros agentes oxidantes como las cloraminas, el dióxido de cloro, el permanganato y ozono. Bromo cloruro de bromo y el yodo son alternativas factibles.

5.2.3.1 Desinfección por luz ultravioleta

Este es uno de los métodos de desinfección de empleo mas reciente debido a su facilidad de operación, su bajo riesgo de operación y la ausencia de productos químicos que generen riesgos ambientales a la salud de los trabajadores, así como sub-productos indeseables en el agua tratada. Su empleo ha sido mas generalizado en los sistemas de tratamiento y manejo de agua potable y en el tratamiento de agua residual de origen doméstico.

El único defecto de los sistemas de luz ultravioleta es que, a pesar de tener una eficiencia de mortandad de microorganismos del 99%, no proporciona un efecto residual y, en consecuencia, la posible contaminación del agua en los sistemas de impulsión, almacenamiento y manejo del fluido puede implicar crecimiento bacteriano posterior. Por dicha razón, el diseño contempla la instalación de un sistema de inyección de hipoclorito de sodio, a dosis de 0.5 a 1.0 mg/l para proporcionar un efecto residual en el agua cruda.

5.2.3.2 Cloración

El cloro participa en un número de reacciones que afecta la capacidad de desinfección. El cloro es un gas disuelto que tiende a escapar a la atmósfera. Por otro lado, la pérdida del cloro por volatilización es mínima porque rápidamente se hidroliza en agua.

El cloro reacciona con las siguientes sustancias:

- a) Agentes reductores como el S^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y NO_2^-
- b) Materia Orgánica. El cloro tiene la capacidad de reaccionar con gran variedad de grupos funcionales y otras reacciones. El cloro tiene la capacidad de reaccionar con una gran variedad de grupos funcionales y otras reacciones de moléculas orgánicas.
- c) Amonio. Los ácidos del hipocloruro reacciona con amonio para producir cloraminas (mono, di y tricloramina). La distribución de los tres tipos de cloraminas es en función de pH.

5.2.3.3 Ozono .

El ozono es el agente oxidante más poderoso y ha sido utilizado para el tratamiento de agua potable y también se usa para controlar el olor y sabor del agua.

El ozono reacciona con materia orgánica y es efectivo en la oxidación de materia inorgánica. La presencia de dióxido de carbono asociado con la alcalinidad mejora la habilidad del ozono para destruir componentes orgánicos y sirve como un desinfectante.

5.3 Principales usos del agua tratada en la Industria

5.3.1 Agua ContraIncendio

En cuanto al tipo de agua usada para control de incendió, su tratamiento es sencillo, incluso se puede emplear agua residual sin tratar, pero es complejo en lo que se refiere al sistema de distribución y almacenamiento, debido a los problemas de taponamiento y azolve del sistema. Además, por la aleatoriedad de la demanda, el transporte se debe efectuar mediante tanque cisterna.

5.3.2 Agua para Calderas

La calidad de agua requerida en calderas y sistemas de generación de potencia obedece a los factores Incrustación, arrastre de sólidos en el vapor y corrosión. El caso típico de arrastre por volatilización de minerales disueltos, es el problema de la sílice. Esta vaporiza a temperaturas superiores a 250 °C, entonces la sílice se depositará ya sea en las superficies de transferencia de calor o en los alabes de la turbina [40].

Casi todas las industrias usan calderas y, en consecuencia, tienen el problema de abastecimiento de agua. A medida que la presión de operación de las calderas aumenta, debe aumentar la calidad del agua, lo cual limita la posibilidad de reusar agua residual municipal. Los límites de calidad del agua son normalmente establecidos por los fabricantes de calderas y sistemas de generación de potencia, la tabla 22, muestra los criterios de calidad del agua para calderas.

Tabla 22 Criterios de Calidad de agua para calderas

Parámetro	Conc. mg/l
Alcalinidad	350
Aluminio	5
Calcio	b
Cloro	b
Cobre	0.5
DQO	5
Dureza	350
Ácido sulfhídrico	b
Hierro	1
Magnesio	b
Manganeso	0.3
Nitrógeno	0.1
Nitrógeno amoniacal	-
Aceite	1
Orgánicos	1
Sust. activas al azul de metileno	2.5
Oxígeno disuelto	7.0-10.0
PH	30
Sílice	10
Sólidos suspendidos	700
Sólidos disueltos totales	b
Sulfato	b
Temperatura	b
Zinc	-

Fuente [2], b -aceptado como recibido

En el agua de alimentación a una caldera, los principales constituyentes responsables de la corrosión son el oxígeno y el dióxido de carbono. De igual forma lo es el agua ácida o fuertemente básica, en la tabla 23 se muestran los parámetro de calidad más aceptados para alimentación a calderas dependiendo de la presión de trabajo de las mismas.

5.3.3 Agua de Enfriamiento

La mayor parte de agua empleada con fines industriales se usa para enfriar un producto o un proceso. El enfriamiento con aire está en uso creciente, sobretodo en áreas donde el agua es escasa, pero todavía está muy atrás del agua en número total de aplicaciones y en la carga total de transferencia de calor.

El uso de agua para enfriamiento se ha puesto bajo una vigilancia que va en aumento desde el punto de vista ambiental. Para el agua de enfriamiento es necesario realizar un tratamiento que evite la incrustación, corrosión y formación de algas y hongos. Se deben incrementar los tratamientos si el sistema es de recirculación.

Tabla 23 Calidad de agua para alimentación de calderas

Parámetros (mg/l)	Presión de Trabajo Kg/ cm ²			
	Presión Baja 0- 10.6	Presión Media 10.6 -49	Alta Presión 49 – 105.5	Termoeléctrica
Acidez mineral libre (como CaCO ₃)	(2)	(2)	(2)	(2)
Alcalinidad (como CaCO ₃)	140	100	40	(2)
Aluminio	5	0.1	0.01	0.01
amoníaco	0.1	0.1	0.1	0.7
Bicarbonato	170	120	48	(3)
Calcio	(1)	(2)	(2)	(3)
Cloruro	(1)	(1)	(1)	(3)
Cobre	0.05	0.05	0.05	0.01
Color	(1)	(1)	(1)	(1)
DQO, O ₂	5	5	0.5	(2)
Dureza (como CaCO ₃)	20	(2)	(2)	(2)
Extracto de CCl ₄	1	1	0.5	(2)
Hierro	0.1	0.05	0.05	0.01
Magnesio	(1)	(2)	(2)	(3)
Manganeso	0.3	0.1	0.01	(3)
Oxígeno disuelto	0.007	0.007	0.007	0.007
pH	8.0-10	8.0-10	8.2-9.0	8.2-9.0
Sílice	30	10	0.7	0.01
Sólidos disueltos	700	500	200	0.5
Sólidos suspendidos	10	5	(2)	(2)
Sulfato	(1)	(1)	(1)	(3)
Sustancias activas al azul de metileno	1	1	0.5	(2)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)
Zinc	(1)	(2)	(2)	(3)

Fuente [2 y 47], (1) Agua salobre, que contiene mas de 10,000 mg/l de sólidos disueltos

(2) Aceptada como se reciba, si satisface los sólidos totales u otras limitaciones

(3) controlada mediante tratamiento a otros componentes

5.3.4 Agua de proceso

Es muy difícil establecer una regla exacta que defina el total de los casos industriales posibles y en consecuencia, la única opción es establecer reglas relativas correspondientes a normas de aplicación general, y que deben evaluarse con cuidado antes de decidir sobre una estrategia específica de tratamiento del agua de alimentación a un proceso industrial.

Esta agua se usa en los procesos como compuesto reaccionante o solvente, así como para evitar la contaminación de productos o envenenamiento de catalizadores. Se requiere que el agua destinada para el uso en proceso esté altamente purificada, para esto se ablanda y se desmineraliza.

Una de las industrias que demanda muy alta calidad de agua es la de semiconductores y de los microcircuitos, debido a la enorme influencia de los contaminantes disueltos sobre las características eléctricas y de continuidad en el circuito impreso. En todos los casos el agua debe ser ultrapura; La ASPEC (Association for the Control and Study of Contamination), ha establecido niveles de calidad en su norma ASPEC 82/17 [40].

Capítulo 6

Selección de la Tecnología más Adecuada para el Caso de Estudio.

6.1 Desarrollo y Diseño del Proceso

El termino "Desarrollo del Proceso", se refiere al refinamiento del concepto del proceso desde sus primeras fases conceptuales: Articulación de los objetivos del proceso, selección de las etapas del proceso, determinación de las limitaciones; a través del desarrollo de la ingeniería preliminar (estudios de factibilidad económica, diagramas de flujo de proceso. El desarrollo del proceso también incluyen los estudios experimentales realizados en el laboratorio, a escala y en planta piloto.

Para el desarrollo y diseño de proceso se partió desde la etapa conceptual, lo cual se muestran en las figuras 5, 6 y 7 que corresponden a tres alternativas tecnológicas planteadas en este trabajo. Estas alternativas a su vez son la base para el estudio económico y para el desarrollo de proceso.

Los factores considerados son: a) Minimizar el uso de tóxicos en el proceso, b) Minimizar el impacto del ciclo de vida con parámetros financieros aceptables, c) Implantar todas las opciones de prevención de la contaminación salvando los obstáculos de inversión y d) Maximizar el uso de materias primas reciclables, tomando en cuenta sus limitaciones principales respectivamente; 1) Cumplimiento con todas las regulaciones ambientales aplicables, 2) Cumplimiento con los requerimientos permitidos para descargas y emisiones, 3) Las cargas al proceso no deben exceder la capacidad de tratamiento de efluentes y 4) Descarga cero de desechos regulados.

6.2 Propuesta de Reuso de Agua Tratada en la Industria Química,

Para la propuesta se considera:

- Aprovechar el agua residual tratada por el municipio.
- Implementar uso de tecnología probada, eficiente y confiable
- Obtener la calidad requerida de agua desmineralizada para su uso en calderas
- Evaluar técnicamente alternativas posibles de tratamiento de aguas residuales tratadas, para alimentación a calderas.

Con base en lo anterior y de acuerdo a las características de calidad esperada en el agua desmineralizada, se debe incluir en el procesos de tratamiento, intercambio iónico por medio de resinas. Por lo cual se proponen tres alternativas tecnológicas

- 1) Intercambio Iónico con resinas sintéticas
- 2) Una combinación de ósmosis inversa con intercambio iónico
- 3) Ósmosis inversa a condiciones de alto pH, combinada con intercambio Iónico

El proceso de intercambio iónico con lechos mixtos tiene mayor aplicación en el campo de pulimento de agua desmineralizada, por lo cual también queda fuera del alcance de esta tesis.

6.2.1 Bases de Diseño

Capacidad de tratamiento. Normal 88 L/s, Maxima 88 L/s, Minima 88 L/s

Fuente de Suministro: Agua Residual Tratada de Municipio

Flexibilidad de operación.

Nuembro de trenes 4

Operacion Normal 3 Trenes, En regeneración 1

Especificaciones de la alimentación

Agua tratada por el municipio

Para fines de diseño, la calidad de esta corriente será la siguiente (tabla 24):

Tabla 24 Calidad del Agua Residual Tratada

Componente	Reportado Como	Normal	Máximo
Calcio	CaCO3	190	250
Magnesio	CaCO3	50	87
Sodio	CaCO3	255	319 Nota 1
Potasio	CaCO3	0	0
Total de cationes	CaCO3	495	646
Bicarbonatos	CaCO3	242	279
Carbonatos	CaCO3	0	0
Cloruros	CaCO3	90	145
Sulfatos	CaCO3	140	200
Nitratos	CaCO3		
Fosfatos	Sustancia	23	32
Total de aniones	CaCO3	495	646
Dureza total	CaCO3	240	337
Dureza de calcio	CaCO3	190	250
Dureza de magnesio	CaCO3	50	87
Alcalinidad total	CaCO3	242	279
Silice	SiO2	12	25
CO2	CO2	24.2	27.9 Nota 2
Sólidos suspendidos totales	mg/l	6	15
Sólidos disueltos totales	mg/l	510	700
Sólidos totales	mg/l	516	715
DBO5	mg/l	10	40
DQO	mg/l	90	104
Grasas y aceites	mg/l	0	7
Fenoles	mg/l	0.023	0.05
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0.85	0.88
Coliformes fecales	Col/ 100 ml	200	1500
pH	Unidades	7.3	7.3
Detergentes	mg/l	9	10.6

Notas:

1.- El valor de sodio fue ajustado para cumplir con el balance iónico del agua cruda.

2.- El valor de CO2 fue calculado para cumplir con la condición de pH del agua.

Especificación de los productos: Agua desmineralizada.

Los valores máximos de calidad que deberá tener el agua desmineralizada producto de la planta de tratamiento de agua serán los siguientes:

Tabla 25 Calidad del agua desmineralizada

Componente	Reportado Como	Límite Máximo
Calcio	CaCO ₃	0.00
Magnesio	CaCO ₃	0.00
Sodio	CaCO ₃	1.00
Potasio	CaCO ₃	0.00
Total de cationes	CaCO₃	1.00
Bicarbonatos	CaCO ₃	0.00
Carbonatos	CaCO ₃	0.00
Cloruros	CaCO ₃	1.00
Sulfatos	CaCO ₃	0.00
Nitratos	CaCO ₃	0.00
Fosfatos	CaCO ₃	0.00
Total de aniones	CaCO₃	1.00
Dureza total	CaCO ₃	0.00
Dureza de calcio	CaCO ₃	0.00
Dureza de magnesio	CaCO ₃	0.00
Alcalinidad total	CaCO ₃	0.00
Sílice	SiO ₂	0.02
CO ₂	CO ₂	0.00
Sólidos suspendidos totales	mg/l	0.00
Sólidos disueltos totales	mg/l	1.17
Sólidos totales	mg/l	1.17
Turbidez	NTU	< 1.00
Color	U Pt-Co.	10.00
pH	Unidades	6.50
Conductividad eléctrica	Siemens/ cml	1.50
Grasas y aceites	mg/l	0.00

6.2.2 Pretratamiento

Para nuestro caso de estudio el agua es residual cruda, de origen municipal, que contiene una serie de contaminantes disueltos, que pueden ser manejados con bastante facilidad por un proceso biológico. El proceso de pretratamiento sería el mismo para las tres opciones consideradas.

Las arenas, por ejemplo, implican riesgos de erosión acelerada en equipos de bombeo y en las líneas de conducción; aunado esto a la realidad de que las arenas sedimentarán en los clarificadores secundarios de un proceso biológico de aeración, o se depositarán sobre el empaque si empleásemos filtros percoladores. Por esa razón es normal eliminar

las arenas desde un principio, justo donde su manejo puede ser menos problemático, y donde aún no entran en contacto con equipos más delicados.

La basura tiene evidentemente el riesgo de taponamiento de equipos de bombeo, daño a partes en movimiento, etc.; y normalmente se elimina desde el principio. Las grasas por su parte revisten un problema para el proceso biológico en sí mismo.

En consecuencia, todos los sistemas de pre tratamiento en aplicaciones de tratamiento de agua residual incluyen como mínimo una etapa de cribado (Sistema de rejillas fijas automáticas y manuales), y sistemas de desarenado, desengrasado. Las características particulares de cada etapa y la tecnología empleada dependerán de la naturaleza, cantidad y capacidad de tratamiento.

En el caso de un tratamiento avanzado de un agua residual tratada (normalmente efluente de un proceso biológico, también llamado secundario) se tiene un escenario totalmente diferente debido a la complejidad de los procesos de tratamiento terciario.

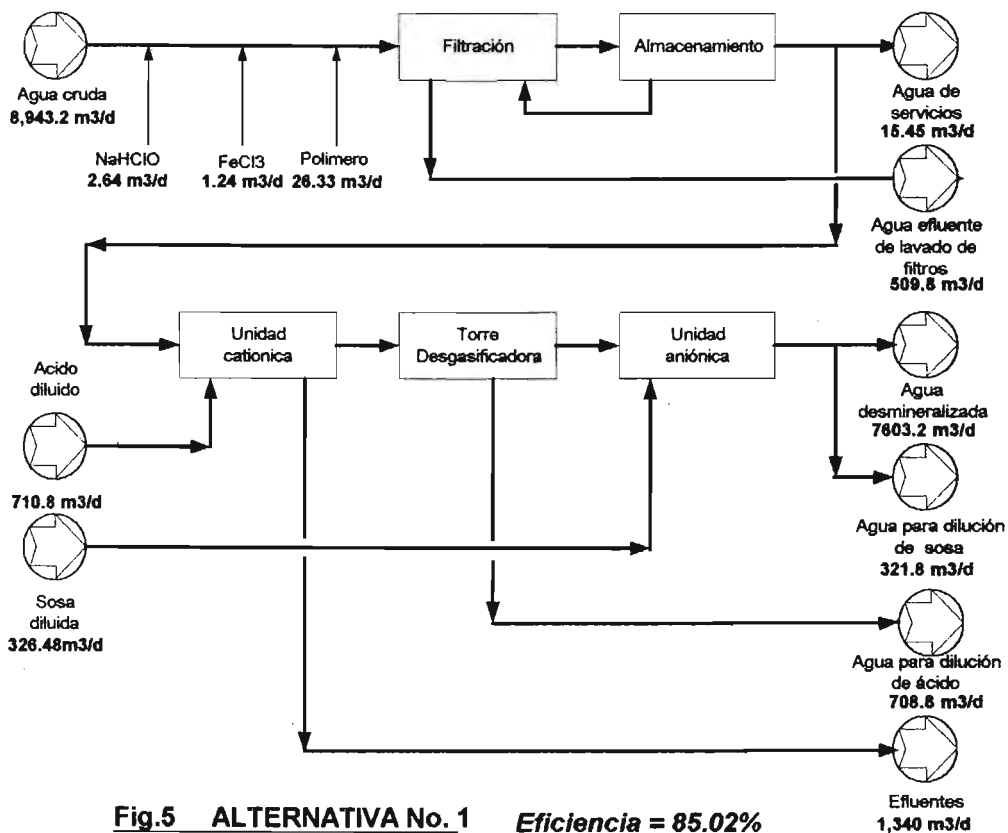
Los tratamientos avanzados normalmente tienen por objetivo la eliminación total de la materia orgánica e inclusive la reducción de los compuestos inorgánicos solubles, y la cantidad de tecnologías existentes, su campo de aplicación y restricciones no permiten establecer una línea general para el pre tratamiento de las mismas [48].

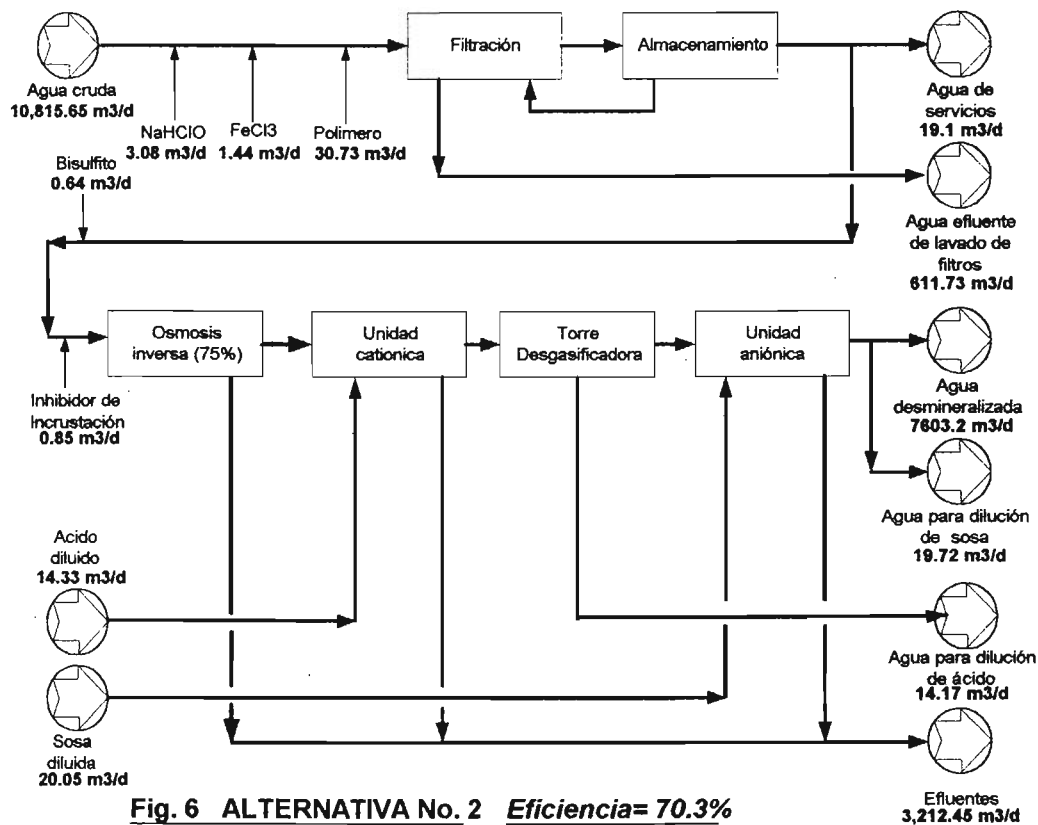
Se puede decir que los dos procesos principales involucrados en este trabajo son el intercambio iónico y la ósmosis inversa y para cada uno de los mismos tenemos:

Los procesos de intercambio iónico en tratamiento avanzado de agua residual tratada incluyen etapas para remoción de orgánicos (Desinfección, Filtración, carbón activado).

Para la ósmosis inversa tiene como principales elementos a remover, los materiales suspendidos, la materia orgánica (ambos causantes de ensuciamiento) y la concentración de sílice. En la etapa de pretratamiento, para cualquiera de las alternativas se recomienda una desinfección con luz ultravioleta, mas cloro y filtración a presión de lecho profundo y alta velocidad, con adición de cloruro férrico y polímero como ayuda de filtración.

Los esquemas de flujo se presentan a continuación para cada alternativa en las figuras 5, 6 y 7 respectivamente.





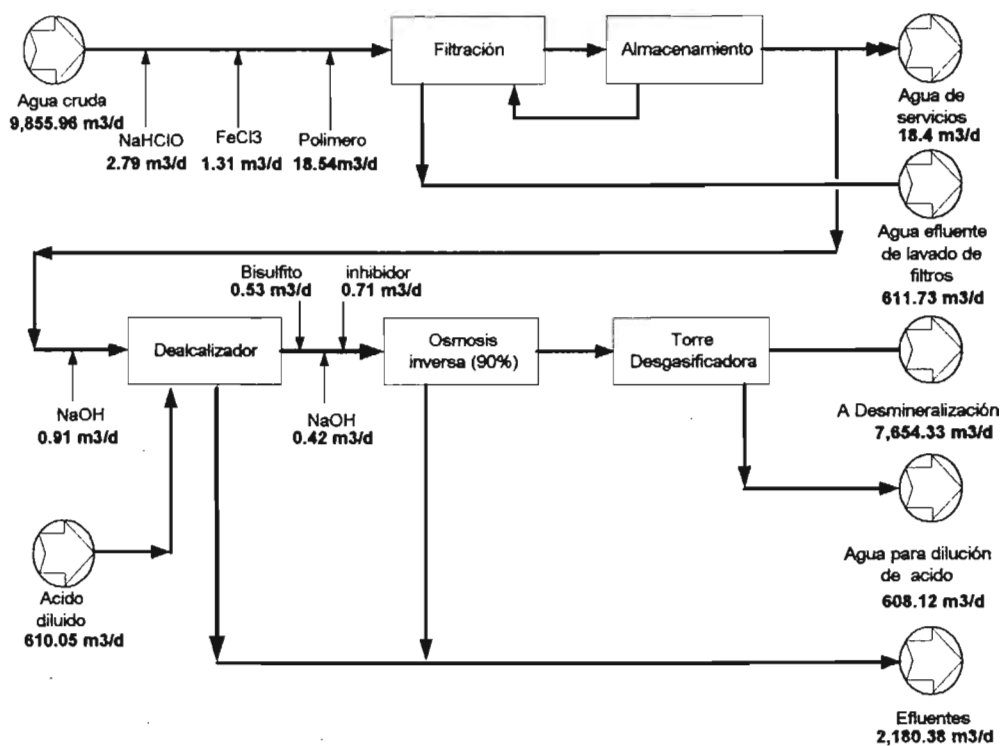


Fig 7a ALTERNATIVA No. 3 (1/2) Eficiencia global = 77.14%

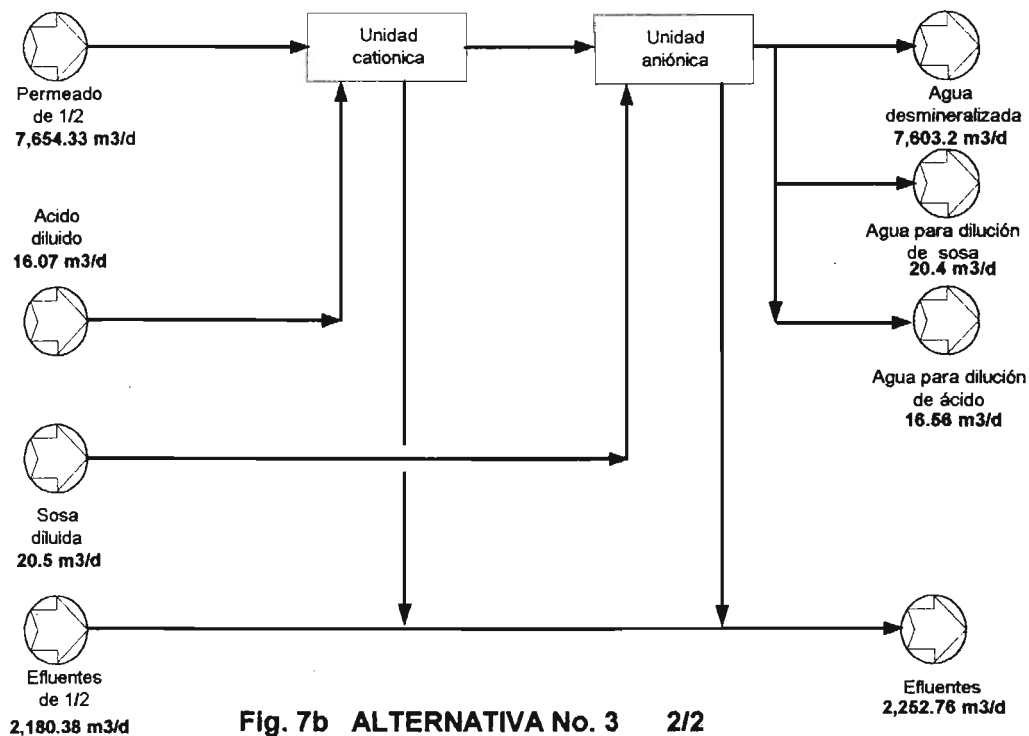


Fig. 7b ALTERNATIVA No. 3 2/2

6.3 Comparación Cualitativa de Opciones Propuestas

Tabal 26 Comparación cualitativa de opciones

Parámetro	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Cantidad de operaciones/ procesos	4	5	6
Requisitos de mantenimiento/ stock de reacciones	Representa el caso de menores requisitos de mantenimiento preventivo, esencialmente integridad de internos de recipientes de intercambio iónico y mecánica de piso. Refaccionamiento simple. Las resinas representan el mayor inventario a nivel financiero	Representa el caso intermedio de mantenimiento, operaciones de limpieza que requieren intervención directa de operación en preparación de productos químicos. Mantenimiento periódico para rotación de membranas Stock de refacciones mayor que en caso 1 al integrar refacciones de membranas y accesorios. Las membranas son una parte importante del inventario en adición a las resinas.	Representa el caso de mayor mantenimiento a consecuencia de la variedad de equipos mecánicos, operaciones de limpieza que requieren intervención directa de operación en preparación de productos químicos. Mantenimiento periódico para rotación de membranas Stock de refacciones mayor que en caso 2 al integrar refacciones de membranas y accesorios. Las membranas son una parte importante del inventario en adición a las resinas.
Diversidad de equipos mecánicos	baja	Intermedia	La mas alta
Seguridad en caso de falla	Efectos posibles reducción de ciclos de corrida. Atenuable con equipo de respaldo.	Mayor seguridad al contar con una etapa intermedia de ósmosis inversa que protegerá a las resinas. La falla de membranas se reflejará en reducción de ciclos de corrida. Sin embargo el ciclo de corrida es de 100 horas, proporcionando buen margen de maniobra	Altas posibilidades de descontrol de proceso por control en base a pH. La instrumentación analítica es muy susceptible a fallas lo que redundaría en condiciones altamente incrustantes y de precipitación en la RO. (osmosis inversa) Probable daño a membranas. Recomendable redundancias en control y permisivos, almacenamientos intermedios con mayor inercia
Niveles de automatización	Simple	Medianamente complejo en instrumentación analítica.	Alto nivel, a consecuencia de posibles efectos de descontrol químico en la etapa de alcalización
Supervisión necesaria	Baja	Mediana	Muy alta

Comparación cualitativa de opciones ... (Continúa)

Parámetro	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Diversidad de productos químicos	Simple, solo ácido y sosa	Mediana, con reactivos especializados para limpieza de membranas	Mediana, con reactivos especializados para limpieza de membranas. Puntos múltiples de inyección con riesgos importantes de control
Flexibilidad ante variaciones futuras de calidad	Efectos posibles reducción de ciclos de corrida. Atenuable con equipo de respaldo. Recomendable plantear bases de diseño en ese tema	Alta flexibilidad, con excepción de la sílice y dureza. Contemplar flexibilidad en adición de ácido antes de la RO (ósmosis inversa)	Alta flexibilidad, Contemplar flexibilidad en adición de reactivos. Tiene alta susceptibilidad a variaciones de alcalinidad y dureza, así como a la relación entre estas.

6.3.1 Alternativa 1

La alternativa No.1 es la más simple desde el punto de vista de la cantidad de operaciones involucradas. Estará constituida por trenes de intercambio catiónico débil/ fuerte, descarbonatación de tiro forzado e intercambio aniónico débil / fuerte.

6.3.2 Alternativa No. 2

La alternativa No. 2 es la siguiente en complejidad y estará formada por una etapa de ósmosis inversa a pH ligeramente ácido y recuperación del 75% volumen. El sistema de ósmosis inversa estará constituido por dos etapas en serie lado rechazo, y un arreglo 2:1. Tras la ósmosis inversa se incluye el intercambio iónico por medio de una unidad catiónica fuertemente ácida, un descarbonatador de tiro forzado y una unidad aniónica débil/ fuerte.

Para el dimensionamiento de la ósmosis inversa se emplearon las recomendaciones de diseño de los fabricantes de membranas de ósmosis inversa.

Por tratarse de una aplicación con agua residual doméstica, se consideran membranas de última generación, denominadas FR por las siglas en inglés "Fouling Resistant". La decisión se basa en el hecho de que cualquier falla en el tratamiento previo pueda ser amortiguada merced al uso de una membrana de mayor resistencia.

6.3.3 Alternativa 3

Esta alternativa es la de mayor complejidad e incluye un pre tratamiento adicional. La primera etapa es el acondicionamiento químico del agua para permitir la máxima efectividad de la de alcalización por intercambio iónico. Consistirá en la adición de

hidróxido de sodio para destruir el CO₂ e incrementar el contenido de carbonatos en el agua, llegando a una relación dureza: alcalinidad de aproximadamente 0.9, de manera que el dealcalizador entregue un agua libre de dureza. Para la de alcalización se emplearán intercambiadores catiónicos débilmente ácidos, regenerados con ácido sulfúrico.

El agua suave se acondiciona químicamente para llevar el pH del agua de alimentación a un valor de 10 unidades. Nuevamente se inyecta hidróxido de sodio. Adicionalmente, se inyecta una solución de meta bisulfito de sodio como seguridad por presencia de cloro residual y un anti incrustante como seguridad en caso de que el control químico pudiera presentar condiciones ligeramente incrustantes en el lado del rechazo.

Para el dimensionamiento de la ósmosis inversa se emplea un arreglo 3:2:1, con tres etapas en serie y las recomendaciones de diseño de los fabricantes de membranas de ósmosis inversa. Por tratarse de una aplicación con agua residual municipal, se consideran membranas de última generación, denominadas FR por las siglas en inglés "Fouling Resistant".

La decisión se basa en el hecho de que cualquier falla en el tratamiento previo pueda ser amortiguada merced al uso de una membrana de mayor resistencia. Es claro que las aplicaciones de ósmosis inversa de alto pH son menos susceptibles a la creación de bio ensuciamiento, sin embargo es prudente y recomendable considerar esta seguridad adicional en caso de fallas en las etapas previas del proceso o la contaminación del agua en los tanques intermedios de balance.

6.4 Efluentes Salinos

Los efluentes salinos, para los tres diferentes procesos tendrán las características listadas en la tabla 28.

Tabla 28 Características de los Efluentes Salinos

Corriente de salida				
Componente	Unidades	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Q min	m ³ /h	45.20	101.72	62.13
Q promedio	m ³ /h	45.20	101.72	62.13
Q max	m ³ /h	45.20	101.72	62.13
Vol. diario	m ³ /h	1,084.76	2,441.29	1,491.22
Q Prom	m ³ /h	45.20	101.72	62.13
Componente	Reportado como			
Hidronio	CaCO ₃	-		
Calcio	CaCO ₃	1,901.30	996.14	1,277.07
Magnesio	CaCO ₃	661.85	346.72	444.42
Sodio	CaCO ₃	7,113.80	1,641.40	5,827.25
Potasio	CaCO ₃	-	-	-
Total Cationes	CaCO₃	9,676.55	2,984.26	7,548.74
Bicarbonatos	CaCO ₃	966.69	344.10	
Carbonatos	CaCO ₃	-	-	191.75
Hidróxidos	CaCO ₃	-	-	728.91
Cloruros	CaCO ₃	1,305.14	691.47	961.33
Sulfatos	CaCO ₃	7,173.36	1,780.38	5,480.88
Nitratos	CaCO ₃	-	-	
Fosfatos	CaCO ₃	231.36	167.31	185.87
Total Aniones	CaCO₃	9,676.57	2,984.26	7,548.74
Dureza Total	CaCO ₃	2,562.95	1,342.66	1,721.49
Dureza de calcio	CaCO ₃	1,901.30	996.14	1,277.07
Dureza de magnesio	CaCO ₃	661.85	346.72	444.42
Alcalinidad total	CaCO ₃	966.69	344.10	191.75
Sílice	SiO ₂	173.26	99.62	134.35
CO ₂	CO ₂	0.20	68.82	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	
Sólidos disueltos totales	mg/l	14,514.85	3,711.97	11,323.10
Sólidos Totales	mg/l	14,514.85	3,711.97	11,323.10
pH	unidades	7.00	7.00	10.00

7.1 Métodos utilizados

Los métodos usados en este trabajo de tesis para hacer la estimación de la inversión en la etapa de ingeniería básica son:

El método de Guthrie [50] para estimaciones del valor de equipo en época pasada, actualizados por factores de índices de costo para equipo de Marshall & Swift, cuyos índices nacen en 1926 con un valor de 100 y para el 2004 tienen un valor de 1,122.68.

Así mismo, estos costos se ajustaron por concepto de capacidad por el método de los seis decimos [51]. Finalmente por el método de factores se obtuvo el estimado por conceptos de instalación, costos de tubería, instrumentación, etc, tal como se observa en la tabla 29.

En la tabla 30, se presentan los costos anuales de operación para la alternativa tecnológica número uno, que es de \$1,766,964 USD/ año, obteniendo un costo unitario de \$ 0.64 USD/m³ de agua acondicionada para alimentación a calderas.

La tabla 31, muestra los mismos parámetros económicos pero la alternativa dos, cuyo costo de operación anual es de \$3,172,482, con un costo unitario de \$1.14 /m³, mientras que para la alternativa tres este costo es de \$1.25/m³, con un costo de operación anual de \$3,462,299, como se observa en la tabla 32.

En las tablas 33 a la 36, se presenta el cálculo del VPN (Valor Presente Neto) y la TIR (tasa interna de Retorno de la inversión), en la cual dado que el costo unitario para la primera alternativa es de \$0.64 USD/m³, se analiza el comportamiento de los parámetros anteriormente mencionados en función del precio del agua acondicionada para alimentación a calderas, en este caso se inicia desde \$ 1.00 /m³ y llega incrementarse hasta \$2.50 USD/m³, obteniendo TIR's desde 20.8% hasta 97.23 %.

La tabla 37 presentan la TIR y el VPN para la alternativa dos, pero como el costo unitario en esta opción es de \$1.14 USD/m³, el análisis se inicia desde \$2 USD/m³, cuya TIR es de 28.47% con un VPN de \$8,879,324 y en la tabla 38 se obtiene el valor de los mismo parámetros (TIR Y VPN) pero cuando el agua acondicionada tome el valor de \$2.50 USD/m³. Las tablas 39 y 40, tienen la misma función de mostrar la TIR y el VPN pero para la alternativa tres.

En la tabla 41, se presenta un resumen global comparativo de los costos de operación (incluyen costos fijos, variables, etc) para las tres opciones que se presentan en esta tesis.

7.2 Evaluación económica

TABLA IV ESTIMADO DE INVERSIONES EN LA ETAPA DE INGENIERÍA BÁSICA, DE UNA PLANTA DESMINERALIZADORA DE AGUA CON CAPACIDAD DE 4 ML DE AGUA ACONDICIONADA PARA ALIMENTACIÓN A CALDERAS EN LA INDUSTRIA QUIMICA

concepto	PARA ALTERNATIVA I, US\$				PARA ALTERNATIVA II, US\$				PARA ALTERNATIVA III, US\$			
	Inversión de equipo mayor:			1,558,668	Inversión de equipo mayor:			1,109,918	Inversión de equipo mayor:			1,354,418
	Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	costo estimado US\$	Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	costo estimado US\$	Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	costo estimado US\$
Instalación eléctrica (incluye alumbrado)	1.07	1.15	1.11	\$171,453	1.07	1.15	1.1	\$310,991	1.07	1.15	1.1	\$335,441
Costo de tubería		1.13	1.13	\$207,626		1.13	1.13	\$404,388		1.13	1.13	\$436,073
Costo de instrumentación y control												
Instrumentos de medición			1.25	\$389,663			1.22	\$342,903			1.2	\$311,732
Tablero de control			1.07	\$109,106			1.06	\$93,520			1.06	\$93,520
Costo de edificios y vitallidades	1.05	1.18	1.18	\$280,559			1.144	\$447,877			1.14	\$469,617
Costo de servicios auxiliares												
Agua de dilución, uso de instrumentos	1.005	1.25	1.12	\$187,039	1.005	1.25	1.1	\$310,991	1.005	1.25	1.09	\$301,897
Costo de ingeniería y supervisión												
Ingeniería			1.13	\$233,799			1.13	\$404,388			1.13	\$436,073
revisión			1.1	\$155,866			1.09	\$279,892			1.09	\$301,897
Procuración			1.1	\$155,866			1.1	\$310,991			1.1	\$335,441
Pruebas y arranque			1.1	\$155,866			1.1	\$310,991			1.1	\$335,441
Administración												
Viajes	1.01	1.1	1.055	\$85,726	1.01	1.1	1.01	\$31,099	1.01	1.1	1.01	\$33,544
Reproducciones y comunicaciones	1.02	1.05	1.02	\$31,173	1.02	1.05	1.02	\$62,198	1.02	1.05	1.02	\$67,088
Contingencias	1.1	1.2	1.15	\$233,799	1.05	1.1	1.07	\$217,694	1.05	1.1	1.07	\$234,809
INVERSIÓN TOTAL				1,951,341				1,457,387				1,846,982

TABLA 30 COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACIÓN

CONCEPTO	COSTO PARA LA ALTERNATIVA I					US\$/año	%
	Volumen	consumo anual	costo unitario	costo total			
			US\$	US\$/año			
Costos fijos				\$734,923			41.59%
Depreciación (10 %)				\$395,120			
Mantenimiento (3%)				\$118,536			
Sueldos y salarios				\$221,267			
Costos variables de operación							
Aguas de suministro				\$293,784			16.63%
De Municipio	8943.2 m3/día	2,937,841 m3/año	0.10 US\$/m3	\$293,784			
Productos químicos				\$442,101			25.02%
hipoclorito de sodio	175.19 kg/día	57,550 kg/año	0.35 USD/Kg	\$20,142			
cloruro férrico	262.78 kg/día	86,323 kg/año	0.06 USD/Kg	\$5,179			
polímero	17.52 kg/día	5,755 kg/año	3.04 USD/Kg	\$17,496			
ácido Sulfúrico (98%)	9,322.80 kg/día	3,062,540 kg/año	0.04 USD/Kg	\$122,502			
Hidróxido de sodio (50%)	4,680.90 kg/día	1,537,676 kg/año	0.18 USD/Kg	\$276,782			
bisulfito de sodio							
anti incrustante							
Energía eléctrica motores	298.04 KWH/H	2,348,747 KWH/año	0.12 US\$/KWH	\$281,970			15.96%
Membranas (garantía de 3 años)							
Resinas (3% de reposición/año)				\$14,185			0.80%
Catiónica débil IRC-84RF	26.8 m3	0.03 rep./año	1,956 US\$/m3	\$1,573			
Catiónica Fuerte 1200H	66.36 m3	0.03 rep./año	1,960 US\$/m3	\$3,902			
Aniónica débil IRA-67RF	42.73 m3	0.03 rep./año	3,593 US\$/m3	\$4,806			
Aniónica fuerte IRA458F	38.08 m3	0.03 rep./año	3,593 US\$/m3	\$4,105			
Catiónica débil IRC-84RF dealcalinizador							
total US\$/AÑO				1,766,964			100.00%
Costo de tratamiento US\$/m3				0.64			

TABLA 31 COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACIÓN

CONCEPTO	COSTO PARA LA ALTERNATIVA II US\$/año					%	
	Volumen		consumo anual		costo unitario	costo total US\$/año	
Costos fijos						\$1,234,591	38.02%
Depreciación (10%)						663,759	
Mantenimiento (3%)						199,128	
Sueldos y salarios						371,705	
Costos variables de operación							
Aguas de suministro						355,306	11.20%
De Municipio	10,816	m3/día	3,553,056	m3/año	0.10 US\$/m3	\$355,306	
Productos químicos						268,809	8.47%
hipoclorito de sodio	204.47	kg/día	67168.395	kg/año	0.35 USD/Kg	\$23,509	
cloruro férrico	306.71	kg/día	100754.235	kg/año	0.06 USD/Kg	\$8,045	
polímero	20.44	kg/día	6,715	kg/año	3.04 USD/Kg	\$20,412	
ácido Sulfúrico (98%)	2548.96	kg/día	837,333	kg/año	0.04 USD/Kg	\$33,493	
Hidróxido de sodio (50%)	384.00	kg/día	126,144	kg/año	0.18 USD/Kg	\$22,706	
bisulfito de sodio	51.36	kg/día	16,872	kg/año	0.44 USD/Kg	\$7,424	
anti incrustante	51.36	kg/día	16,872	kg/año	9.2 USD/Kg	\$155,220	
Energía eléctrica motores	737.82	KWH/H	5,816,973	KWH/año	0.12 US\$/KWh	\$698,037	22.00%
Membranas (garantía de 3 años)	719	membr.	719	membr.	850.00 US\$/mebr.	\$611,388	19.27%
Resinas (3% de reposición/año)						4,351	0.14%
Catiónica débil IRC-84RF							
Catiónica Fuerte 1200H	31	m3	0.03	rep./año	1,956 US\$/m3	\$1,807	
Aniónica débil IRA-67RF	17	m3	0.03	rep./año	1,957 US\$/m4	\$875	
Aniónica fuerte IRA458F	27	m3	0.03	rep./año	1,958 US\$/m5	\$1,569	
Catiónica débil IRC-84RF dealcalinizador							
total US\$/AÑO	3,172,482					100.00%	
Costo de tratamiento US\$/m3	1.14						

TABLA 32 COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACIÓN

CONCEPTO	COSTO PARA LA ALTERNATIVA III- US\$/año						%	
	Volumen		consumo anual		costo unitario		costo total US\$/año	
Costos fijos							\$1,481,881	42.80%
Depreciación							708,693	
Mantenimiento (3%)							211,409	
Sueldos y salarios (8%)							563,768	
Costos variables de operación								
Aguas de suministro							323,755	8.35%
De Municipio	9,855.56	m3/día	3,237,561	m3/año	0.10	US\$/m3	\$323,756	
Productos químicos							332,108	9.59%
hipoclorito de sodio	185.42	kg/día	60910.47	kg/año	0.35	USD/Kg	\$21,319	
cloruro férrico	278.14	kg/día	91368.89	kg/año	0.06	USD/Kg	\$5,482	
polímero	18.54	kg/día	6090.39	kg/año	3.04	USD/Kg	\$18,516	
ácido Sulfúrico (98%)	6008.00	kg/día	1972971.00	kg/año	0.04	USD/Kg	\$78,919	
Hidróxido de sodio (50%)	1227.80	kg/día	403268.80	kg/año	0.18	USD/Kg	\$72,588	
bisulfito de sodio	42.72	kg/día	14033.52	kg/año	0.44	USD/Kg	\$6,176	
anti incrustante	42.72	kg/día	14033.62	kg/año	9.2	USD/Kg	\$129,108	
Energía eléctrica motores	785.94	KWH/H	8,196,351	KWH/año	0.12	US\$/KWH	\$743,582	21.48%
Membranas (garantía de 3 años)	671	membr.	671	membr.	850.00	US\$/mbr.	\$570,820	16.46%
Reelinas (3% de reposición/año)							\$10,387	0.30%
Catiónica débil IRC-84RF								
Catiónica Fuerte 1200H	26	m3	0.03	rep./año	1,958	US\$/m3	\$1,479	
Aniónica débil IRA-67RF								
Aniónica fuerte IRA458F	50	m3	0.03	rep./año	3,593	US\$/m3	\$5,411	
Catiónica débil IRC-84RF descalcificador	80	m3	0.03	rep./año	1,959	US\$/m3	\$3,497	
total US\$/AÑO	3,482,289						100.00%	
Costo de tratamiento US\$/m3	1.25							

TABLA 33 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA 1

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,168 m ³ /año
Precio de venta:	\$1.00 US\$/m ³
Ingresos:	\$2,775,168.00 US\$/año
Egresos:	1,766,964 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$1,766,964	\$3,851,203	-\$5,718,167		-\$5,718,167	-\$5,718,167	-\$5,718,167	0	0.1
2005	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$1,275,749	-\$4,442,418	1	0.1
2006	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$1,159,772	-\$3,282,645	2	0.1
2007	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$1,054,338	-\$2,228,307	3	0.1
2008	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$956,489	-\$1,269,818	4	0.1
2009	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$871,354	-\$398,464	5	0.1
2010	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$792,140	\$393,676	6	0.1
2011	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$720,127	\$1,113,803	7	0.1
2012	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$654,661	\$1,768,466	8	0.1
2013	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$595,148	\$2,363,611	9	0.1
2014	\$2,775,168	\$1,766,964		\$1,008,204	\$395,120	\$1,403,324	\$541,042	\$2,904,653	10	0.1
								VPN	\$2,904,653	
								TIR	20.85%	

TABLA 34 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA I

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,168 m ³ /año
Precio de venta:	\$1.60 US\$/m ³
Ingresos:	\$4,162,752.00 US\$/año
Egresos:	1,768,964 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSIÓN PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACIÓN	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$1,768,964	\$3,951,203	-\$5,718,167		-\$5,718,167	-\$5,718,167	-\$5,718,167	0	0.1
2005	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$2,537,189	-\$3,180,978	1	0.1
2006	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$2,306,536	-\$874,442	2	0.1
2007	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$2,096,851	\$1,222,409	3	0.1
2008	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,906,228	\$3,128,637	4	0.1
2009	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,732,934	\$4,861,571	5	0.1
2010	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,575,395	\$6,436,966	6	0.1
2011	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,432,177	\$7,869,143	7	0.1
2012	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,301,979	\$9,171,123	8	0.1
2013	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,183,818	\$10,354,740	9	0.1
2014	\$4,162,752	\$1,768,964		\$2,395,788	\$395,120	\$2,790,908	\$1,076,016	\$11,430,756	10	0.1
								VPN	\$11,430,756	
								TIR	47.83%	

TABLA 35 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA 1

Tipo de carga: Municipal
 Volumen de ventas: 2,778,168 m³/año
 Precio de venta: \$2.00 US\$/m³
 Ingresos: \$5,550,336.00 US\$/año
 Egresos: 1,768,964 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$1,768,964	\$3,951,203	-\$5,718,167		-\$5,718,167	-\$5,718,167	-\$5,718,167	0	0.1
2005	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$3,798,629	-\$1,919,538	1	0.1
2006	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$3,453,299	\$1,533,762	2	0.1
2007	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$3,139,363	\$4,873,125	3	0.1
2008	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$2,853,968	\$7,527,091	4	0.1
2009	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$2,594,515	\$10,121,606	5	0.1
2010	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$2,358,650	\$12,480,258	6	0.1
2011	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$2,144,227	\$14,624,484	7	0.1
2012	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$1,949,297	\$16,573,781	8	0.1
2013	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$1,772,089	\$18,345,870	9	0.1
2014	\$5,550,336	\$1,768,964		\$3,783,372	\$395,120	\$4,178,492	\$1,610,990	\$19,956,859	10	0.1
								VPN	\$19,956,859	
								TIR	72.77%	

TABLA 36. ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA 1

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,168 m ³ /año
Precio de venta:	\$2.50 US\$/m ³
Ingresos:	\$8,937,920.00 US\$/año
Egresos:	1,766,964 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$1,766,964	\$3,951,203	-\$5,718,167		-\$5,718,167	-\$5,718,167	-\$5,718,167	0	0.1
2005	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$5,060,069	-\$658,098	1	0.1
2006	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$4,600,063	\$3,941,965	2	0.1
2007	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$4,181,878	\$8,123,841	3	0.1
2008	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$3,801,705	\$11,925,546	4	0.1
2009	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$3,456,085	\$15,381,641	5	0.1
2010	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$3,141,805	\$18,523,546	6	0.1
2011	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$2,856,277	\$21,379,824	7	0.1
2012	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$2,596,616	\$23,976,439	8	0.1
2013	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$2,360,560	\$26,336,999	9	0.1
2014	\$8,937,920	\$1,766,964		\$5,170,956	\$395,120	\$5,566,076	\$2,145,953	\$28,482,952	10	0.1
								VPN:	\$28,482,952	
								TIR:	97.23%	

TABLA 37 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA II

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,168 m3/año
Precio de venta:	\$2.00 US\$/m3
Ingresos:	\$5,550,336.00 US\$/año
Egresos:	3,172,482 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$3,172,482	\$6,637,567	-\$9,810,069		-\$9,810,069	-\$9,810,069	-\$9,810,069	0	0.1
2005	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$2,785,102	-\$7,044,967	1	0.1
2006	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$2,613,730	-\$4,531,237	2	0.1
2007	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$2,285,209	-\$2,248,028	3	0.1
2008	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$2,077,462	-\$168,566	4	0.1
2009	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,888,602	\$1,720,036	5	0.1
2010	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,718,911	\$3,436,947	6	0.1
2011	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,580,828	\$4,997,776	7	0.1
2012	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,418,935	\$6,416,710	8	0.1
2013	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,289,941	\$7,708,651	9	0.1
2014	\$5,550,336	\$3,172,482		\$2,377,854	\$663,759	\$3,041,613	\$1,172,673	\$8,879,324	10	0.1
								VPN	\$8,879,324	
								TIR	28.47%	

TABLA 38. ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA II

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,168 m3/año
Precio de venta:	\$2.50 US\$/m3
Ingresos:	\$6,937,920.00 US\$/año
Egresos:	3,172,482 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$3,172,482	\$6,837,588	-\$9,810,070		-\$9,810,070	-\$9,810,070	-\$9,810,070	0	0.1
2005	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$4,028,543	-\$5,783,527	1	0.1
2006	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$3,680,493	-\$2,123,034	2	0.1
2007	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$3,327,721	\$1,204,667	3	0.1
2008	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$3,025,201	\$4,229,888	4	0.1
2009	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$2,760,183	\$6,980,071	5	0.1
2010	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$2,600,166	\$9,480,237	6	0.1
2011	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$2,272,878	\$11,753,115	7	0.1
2012	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$2,098,253	\$13,819,368	8	0.1
2013	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$1,878,412	\$15,697,780	9	0.1
2014	\$6,937,920	\$3,172,482		\$3,765,438	\$663,759	\$4,429,197	\$1,707,647	\$17,405,427	10	0.1
VPN								\$17,405,427		
TIR								43.97%		

TABLA 39 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA III

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,188 m3/año
Precio de venta:	\$2.00 US\$/m3
Ingresos:	\$6,660,336.00 US\$/año
Egresos:	3,462,299 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 16%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$3,462,299	\$7,076,982	-\$10,539,281		-\$10,539,281	-\$10,539,281	-\$10,539,281	0	0.1
2005	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$2,541,577	-\$7,997,704	1	0.1
2006	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$2,310,525	-\$5,687,179	2	0.1
2007	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$2,100,477	-\$3,586,701	3	0.1
2008	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,909,526	-\$1,677,177	4	0.1
2009	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,735,932	\$58,765	5	0.1
2010	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,578,120	\$1,836,875	6	0.1
2011	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,434,654	\$3,071,529	7	0.1
2012	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,304,231	\$4,375,780	8	0.1
2013	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,185,865	\$5,661,426	9	0.1
2014	\$5,660,336	\$3,462,299		\$2,088,037	\$707,698	\$2,795,735	\$1,077,877	\$6,839,302	10	0.1
								VPN	\$6,839,302	
								TIR	23.25%	

TABLA 40 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES FINANCIEROS ALTERNATIVA III

Tipo de carga:	Municipal
Volumen de ventas:	2,775,188 m3/año
Precio de venta:	\$2.50 US\$/m3
Ingresos:	\$8,937,920.00 US\$/año
Egresos:	3,462,299 US\$/año que corresponden a los costos totales de operación

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	INVERSION PROGRAMABLE	FLUJO NETO DE EFECTIVO	DEPRECIACION	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO DESCONTADO	FLUJO NETO DE EFECTIVO DESCONTADO AL ACUMULADO 10%	AÑO	Interés
2004	0.00	\$3,462,299	\$7,046,982	-\$10,509,281		-\$10,509,281	-\$10,509,281	-\$10,509,281	0	0.1
2005	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$3,800,290	-\$8,708,991	1	0.1
2006	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$3,454,809	-\$3,264,182	2	0.1
2007	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$3,140,736	-\$113,446	3	0.1
2008	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$2,855,214	\$2,741,788	4	0.1
2009	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$2,566,649	\$5,337,418	6	0.1
2010	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$2,359,681	\$7,697,099	6	0.1
2011	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$2,145,185	\$9,842,264	7	0.1
2012	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$1,950,150	\$11,792,413	8	0.1
2013	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$1,772,863	\$13,565,277	9	0.1
2014	\$8,937,920	\$3,462,299		\$3,475,621	\$704,698	\$4,180,319	\$1,611,694	\$16,178,971	10	0.1
								VPN	\$15,178,971	
								TIR	38.21%	

Tabla 41 Resumen global de costo para todas las alternativas

COSTO TOTAL ANUAL DE OPERACIÓN

CONCEPTO	COSTO PARA LA ALTERNATIVA I US\$/año costo total US\$/año	%	COSTO PARA LA ALTERNATIVA II US\$/año costo total US\$/año	%	COSTO PARA LA ALTERNATIVA III US\$/año costo total US\$/año
Costos fijos	\$734,923	41.69%	\$1,234,591	38.92%	\$1,481,861
Costos variables de operación					
Aguas de suministro	\$293,784	16.63%	365,306	11.20%	323,756
Productos químicos	\$442,101	25.02%	268,809	8.47%	332,108
Energía eléctrica motores	\$281,970	15.98%	\$898,037	22.00%	\$743,562
Membranas (garantía de 3 años)			\$611,388	19.27%	\$670,629
Resinas (3% de reposición/año)	\$14,185	0.80%	4,351	0.14%	\$10,387
total US\$/AÑO	1,768,963	100.00%	3,172,482	100.00%	3,482,300
Costo de tratamiento US\$/m3	0.64		1.14		1.26

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye, que a pesar de que México a manera general es un país sin problemas de agua; al efectuar un balance regional aparecen zonas con un marcado déficit, como es la zona norte que incluyen el estado de Nuevo León, Chihuahua, etc, así como también la zona centro (entre ella el D.F.).

Por lo anterior y con el cumplimiento total de los objetivos de esta tesis, se recomienda ampliamente la estrategia del reuso de agua tratada municipal en la industria; Con esta propuesta se abatiría el desabasto de agua en dichas zonas, favoreciendo el desarrollo sustentable de dicha industria, además que de ser amigable con el medio ambiente, - restándole contaminación-, conserva y/o genera empleos, reactivando el crecimiento económico de la zona y de la propia nación, así como también se consigue la liberación de agua "fresca" para consumo humano. Se comprobó al obtener valores presentes netos positivos y tasas de rentabilidad atractivas que el reuso de agua municipal tratada en el contexto del desarrollo sustentable es factible.

Aunque la tasa de crecimiento de la población va en decremento (0.9%), la población irá en aumento, derivado de esto, en los próximos años la demanda de agua provocará escasez de la misma; éste fenómeno puede ser aprovechado para ajustar las tarifas, que durante el proceso de investigación en este trabajo mostraron ser insuficientes, por falta de recaudación de fondos (entre otros problemas), sólo se trata el 30% de las aguas municipales y se abastece al 88% de la población de agua potable ya que las tarifas bajas o subsidios estimulan el desperdicio del insumo.

Se sugiere a los diferentes niveles de gobierno tanto federal como estatal, que refuercen la inducción a la cultura del ahorro y del reuso del agua, tanto a las empresas, como a los habitantes, ya que comparado con otros países como Suecia, España, Inglaterra, etc, esta cultura es muy escasa.

Por otro lado, de las tres alternativas tecnológicas planteadas en este trabajo, todas con una capacidad de 88 L/s; 1) intercambio iónico, 2) combinación de intercambio iónico con ósmosis inversa y 3) ósmosis inversa de alto pH con intercambio iónico;

En la opción uno con una inversión de \$3,951,200 USD, se obtienen un costo unitario de \$0.64/ m³, se obtuvo una TIR de 47.8%, cuando el precio del agua tratada para alimentación a calderas es de \$ 1.50 USD, lo cual nos indica que es un proyecto muy rentable y cuando el precio del agua tratada se eleva a \$2.00 USD /m³, la TIR aumenta hasta 72.7% con un VPN de \$19,956,859. Sin embargo, en zonas donde el problema principal es por ejemplo el exceso de sílice, la opción 3 es la mejor alternativa desde el punto de vista tecnológico, aunque incurre en la inversión mayor (\$ 7,46,980 USD) de las opciones aquí planteadas, se obtuvo en esta tercera opción y para el mismo precio de \$2 USD/m³ una TIR de 23.2% y un VPN de \$ 6,639,302, lo cual nos indica que es un proyecto mucho menos rentable que la opción uno, dado que se incurre en un costo unitario de \$1.25 /m³ , para esta misma opción se tiene una TIR de 38.2 %, cuando el precio del agua desmineralizadas es considerada a un precio de \$2.50 USD/m³.

En la opción número dos, la TIR a un precio de \$2 USD/m³ de agua desmineralizada para alimentación a calderas es de 28.4%, con una inversión de \$6,637,588 USD y VPN de \$8,879,324, mientras que para el precio de \$2.50 USD/m³, la TIR aumenta a 43.9%, siendo esta opción más rentable que la tercera, pero menos que la primera.

Comprobando también que a medida que la escasez se haga mas presente, -por cualquiera de sus factores-, el precio del bien aumentará, haciendo aun más rentable el reuso de agua municipal tratada para alimentación a caldeas en la industria, razón por la cual ningún empresario debería rehusarse en implementar una planta de tratamiento como las aquí estudiadas.

Por ultimo se invita al gobierno de México, a explotar al máximo la capacidad de sus plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, para que esto no sea tomado por los empresarios como limitante en la implementación estratégica del reuso del agua tratada municipal.

Bibliografía

1. Loaiza García R, Jiménez Ramón A. Aplicación del modelo de asignación de agua a Monterrey, Nuevo León, Ingeniería Hidráulica en México, septiembre/ diciembre, 1987
2. Jiménez Cisneros B, Ramos Hernández J, Reuso posible del agua residual en México, Instituto de Ingeniería UNAM, No. 617, 1999
3. El Desarrollo Sustentable UNITEC, 2002
4. Roberto del Río Soto, "Modelo organizacional de Desarrollo sustentable para la industria química en México", Tesis Doctoral (Ciencias de la Administración) , Facultad de Contaduría y Administración, UNAM, 2003
5. Cano Jiménez Rosalinda, Trabajo Monográfico de Actualización, Guía practica pera el tratamiento de aguas como material de apoyo para el curso de ing. de servicios, Fac. Química UNAM. 2004
6. The role of the organic matter in water treatment, Robert Kunin, Rohm & Hass Co.
7. "Aplicabilidad del modelo organizacional de desarrollo sustentable para la industria química en México", Vargas Álvarez M A., Tesis, Postgrado Química, (Ingeniería y Admón. de Proyectos), 2003
8. www.cce.org.mx
9. www.Conama.cl/CDS/agenda21.htm
10. Oliver, JJ, and Antony, D.B, Polluting Prevention – A global Perspectives, Hydrocarbon Processing, Nov 1994
11. - Estadísticas del Agua en México 2004, Comisión Nacional del Agua.
12. - Arreguin F, El uso eficiente del agua y la Tecnología, Ingeniería Sanitaria en México, 12 (1), 91-98, enero-abril, 1997
13. - Turk T. Tratado de Ecología, 1991
14. - La Jornada, 23 Marzo 2002, México. D.F.
15. -Ortiz Rendón Gustavo, La política del agua en México en el marco del desarrollo sustentable, Ingeniería Hidráulica en México, 12 (3) Septiembre – Diciembre, 1997, 59-70.
16. - Martínez Autría PF., Paradigmas emergentes para el manejo del agua en el siglo XXI, Ingeniería Hidráulica en México, Octubre –diciembre, 2001
17. - Achemerica 2005, April, Mexico City.
18. -"Faltan políticas sobre conservación de afluentes", Privatizar el servicio, pecado contra la dignidad humana periódico Reforma, Marzo 28, 2004
19. - Arthur D. Little Inc. "Seizing Strategic Environmental Advantage, A life Cycle Approach", Cambridge, Mass, 1991
20. - Estadísticas del INEGI, 2002
21. -Environment Protection Agency Ambiental Water Quality Criterial, 1991
22. - Química del agua, Snoeyink, Jenkyns, Limusa,Primera Ed., 1987

23. - Inturbide Rosario, Silva Ana, Revisión Bibliográfica sobre contaminación de suelos y Acuíferos, Ingeniería Hidráulica en México, Septiembre –Diciembre, 1989
24. - Villarreal E, Costo en el primer nivel de atención, Salud Publica de México, 38(5), 332-340, 1996
25. - Alternativas de tratamiento de Aguas Residuales, IMTA, 1997
26. - Azqueta Oyarzun, Teoría de los precios sociales, Madrid, Instituto de Administración Publica, Alcalá de Henares, McGraw-Hill, 1985
27. - Juárez Villaseñor J, Olaiz y Pérez A., Ley Federal de Aguas: Antecedentes y Aplicación, Ingeniería Hidráulica en México, Enero –Abril, 1986.
28. - Reglamento de servicio de agua y drenaje del D.F. 1995
29. - Bravo Pérez Héctor Manuel, La demanda de en la industria: el caso de la industria azucarera mexicana, Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XIV, Núm. 1 Enero- Abril, 1999
30. - Bravo H y JC. Castro, Efectos sobre la recaudación de derechos de agua, Ingeniería Hidráulica en México, 12 (2) , 73-74, 1997.
31. - Tarifas de Agua potable y alcantarillado en México, Ingeniería Hidráulica, mayo-agosto 1991
32. - Tarifas de Agua Industriales, CNA 2003
33. - Rosales Calzada P, Barrera Roldan A, Efectos Económicos provocados por la contaminación del agua en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, México, Vol. XVIII, núm. 1, 75-84, Enero-Marzo 2003
34. - Torrescano J.L. Tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activos, 1998
35. - Aehnder, A. J. K Ingvorsen and T. Masrti (1982), Microbiology of Methanogen Bacteria, in Anaerobic Digestion, Ed. Elsevier, Amsterdam .
36. - Metcalf & Eddy, Waste water Treatment,
37. - Padilla Sierra Federico, Selección y diseño de sistemas de desmineralización por intercambio iónico en aplicaciones de tratamiento de agua para usos industriales, ESQUIE (Tesis), IPN, 2000
38. - Application of low fouling Ro membrane elements for the reclamation of municipal water, Mark Wilf, Hydranautics Corp. ([www. Hydranautics.com](http://www.Hydranautics.com))
39. - Application of UF combined with novel low fouling RO membrane for reclamation of municipal wastewater, Pearce, Wilf, Alt, Reverter, Hydranautics Corp.
40. - Water Tratment Handbook, Degremont, Sixth Edicion, 1991
41. - Reducing the fouling rate of surface and waste Ro systems, Wayne T. Bates, Hydranautics Corporation, IWC-98-08, 1998
42. - Manual de Aguas para Usos Industriales, ASTM, Ed. Limusa, México, 2000
43. - Wining the battle against Biofilm Formation, Dow Liquid Separation, Dow Corp.

44. - For water Treatment, Consider high pH Reverse Osmosis, Khaled Mofiah, Chemical Engineering, September 2003
45. - HERO®, Application on high silica gray water for an ACC combined cycle power plant, Vanj, Kasper, Rega & et, IWC –02-50
46. -Osmosis Inversa de Alto pH para tratamiento de agua residual, Khaled Mofiah, Octubre 2002.
47. - Boiler Operator's Guide, Anthony L. Kohan, Harry M Spring, 3 rd Ed., McGraw- Hill, 1991, U.S.A.
48. -Tratamiento del Agua por Procesos de Membrana, American Water Works Association, Lyonaise des Eaux, MacGraw Hill, México, 1999
49. - Wastewater Reclamation Using UF/RO Technology, Mark Wilf, Hydranautics Corp.
50. - Guthrie, W. R & Grace & Co. data & techniques for preliminary capital cost estimating, Chemical Eng. March 24, 1969.
51. - Valle Riesta, Project Evaluation in the Chemical Process Industries, 1985
52. - William D. Baasel, Preliminary Chemical Engineering Plant Design, Van Nostrand Reinhold, 1990, NY
53. - John S. Page, Conceptual Cost Estimating Manual, Gulf Publishing Company, 1984, Houston
54. - Cost of Process equipment and Other Items, Chemical Engineering, October 10, 1977, pg 309
55. - Max S. Peters, & Klaus D. Timmerthaus, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Advisory Board.
56. - www.matche.com/EquipCost/Tank
57. - Comparison of membranes Technologies for treatment of municipal effluents, Mark Wilf, Hydranautics Corp.

ANEXO 1

Dimensionamiento de la Unidades Desmineralizadoras

Alternativa 1

1 Dimensionamiento de la unidad desmineralizadora

El siguiente análisis es para un tren de tratamiento:

1.1 Capacidad de producción

Capacidad máxima por tren	158.4 m3/h
Capacidad promedio por tren	158.4 m3/h

1.2 Carga iónica

Tiempo de corrida entre regeneraciones	12 horas
Volumen neto tratado por ciclo	1900.8 m3
Volumen bruto	1900.8 m3

Carga iónica:

Componente	Reportado Como	mg/l	Carga Kg/ciclo
Calcio	CaCO3	250	475
Magnesio	CaCO3	87	165
Sodio	CaCO3	318	606
Potasio	CaCO3	0	0
Total de cationes	CaCO3	656	1247
Bicarbonatos	CaCO3	279	530
Carbonatos	CaCO3	0	0
Cloruros	CaCO3	145	278
Sulfatos	CaCO3	200	380
Nitratos	CaCO3	32	61
Fosfatos	CaCO3	0	0
Total de aniones	CaCO3	656	1247
Dureza total	CaCO3	337	641
Dureza de calcio	CaCO3	250	475
Dureza de magnesio	CaCO3	87	165
Alcalinidad total	CaCO3	279	530
Silice	SiO2	25	48
CO2	CO2	27.9	53
Sólidos suspendidos totales	mg/l	30	57
Sólidos disueltos totales	mg/l	700	1331
Sólidos totales	mg/l	730	1388
DBO5	mg/l	30	57
DQO	mg/l	75	143
Grasas y aceites	mg/l	5	10
Fenoles	mg/l	0	0
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0.98	2
Coliformes fecales	Col/ 100 ml	0	0
pH	Unidades	7.3	7
Detergentes	mg/l	0	0

1.2 Combinación de resinas

Debido a que se trata del tratamiento del agua residual tratada, de origen sanitario, las condiciones de contaminación orgánica implican problemas serios para resinas aniónicas gelulares de matriz estireno-divinilbenceno. Por esa razón es recomendable pensar en resinas de tipo acrílico.

Las resinas a emplear serán las siguientes:

Catiónica débilmente ácida	IRC68RF
Catiónica fuertemente ácida	Amberjet 1200
Aniónica débilmente básica	IRA67RF
Aniónica fuertemente básica	IRA458RF

1.4 Unidad aniónica

La unidad aniónica será del tipo lecho empacado. Se alojarán tanto la resina débil como la fuerte en el mismo recipiente

Carga Aniónica:

Volumen neto producido por ciclo	1,900.80	m3	
Volumen regeneración unidad aniónica	85.04	m3	88.12
Volumen agua desmineralizada a UC	-		
Volumen bruto producido	1,995.84	m3	

La calidad esperada a la salida de la resina catiónica fuerte es la siguiente:

Bicarbonatos	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Cloruros	145.00	mg CaCO3/l	38.46%	289.40	Kg CaCO3/ciclo	5,787.94	eq/ciclo
Sulfatos	200.00	mg CaCO3/l	53.05%	399.17	Kg CaCO3/ciclo	7,983.36	eq/ciclo
Nitratos	32.00	mg CaCO3/l	8.49%	63.87	Kg CaCO3/ciclo	1,277.34	eq/ciclo
Fosfatos	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Total aniones	377.00	mg CaCO3/l	100.00%	752.43	Kg CaCO3/ciclo	16,048.63	eq/ciclo
SiO2	30.00	mg CaCO3/l	7.22%	59.85	Kg CaCO3/ciclo	1,197.50	eq/ciclo
CO2 (Nota 1)	8.80	mg CaCO3/l	2.12%	17.56	Kg CaCO3/ciclo	351.27	eq/ciclo
Total de aniones intercambiables	415.80	mg CaCO3/l		829.87	Kg CaCO3/ciclo	16,597.41	eq/ciclo

Nota 1: El valor de CO2 corresponde a una fuga de 10 mg/l de CO2 en el descarbonador.

Permitiremos que la resina aniónica débil se sature aproximadamente un 30%, dejando parte de la acidez mineral libre para que fugue a la resina aniónica fuertemente básica.

En consecuencia:

Unidad	Aniónica débil	Aniónica fuerte	Totales
Bicarbonatos	- eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00% - eq/ciclo
Cloruros	4,452.26 eq/ciclo	1,335.68 eq/ciclo	38.46% 5,787.94 eq/ciclo
Sulfatos	6,141.05 eq/ciclo	1,842.31 eq/ciclo	53.05% 7,983.36 eq/ciclo
Nitratos	982.57 eq/ciclo	294.77 eq/ciclo	8.49% 1,277.34 eq/ciclo
Fosfatos	- eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00% - eq/ciclo
Total aniones	11,575.87 eq/ciclo	3,472.76 eq/ciclo	100.00% 16,048.63 eq/ciclo
SiO2	- eq/ciclo	1,197.50 eq/ciclo	23.85% 1,197.50 eq/ciclo
CO2	- eq/ciclo	351.27 eq/ciclo	7.00% 351.27 eq/ciclo
Total de aniones intercambiables	11,575.87 eq/ciclo	5,021.53 eq/ciclo	16,597.41 eq/ciclo

1.4.1

Resina aniónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración ideal, dadas las condiciones de fuga

Para lograr una fuga de 0.02 mg/l de SiO2, emplearemos la siguiente correlación:

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B \times C$$

Donde

Leak = fuga de sílice en mg/l

A = Corrección por contenido de sílice 4.25 @23.85 % de SiO2

B = Corrección por temperatura 1.2 @ 20 °C

C = Corrección por temperatura de reg. 1 @ 25 °C

En consecuencia, para lograr 0.02 mg/l de SiO2, tenemos que la fuga base debe ser: 0.004

Se requiere un nivel de regeneración de 82 g/l

La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$\text{Cap} = \text{Cap}_0 \times D \times E \times F \times G$$

Cap0 = Capacidad base 0.75 eq/l @ 82 g/l

D = Corrección por sulfatos 0.84 En condición de inicio de corrida sin fuga de la unidad débil

E = Corrección por CO2 1.03 @ 45% en condición crítica sin fuga de resina débil

F = Corrección por SiO2 0.88 @ 55% en condición crítica sin fuga de la resina débil

G = Corrección por punto de fuga 0.95 A un punto de fin de carrera de 100 ppb

Capacidad corregida 0.61 eq/l

	Volumen de resina IRA 458	8,271.87 litros	Emplear	8,272.00 litros
	Factor de seguridad	0.87		
	Volumen corregido	8512.80 litros	Emplear	9,514.00 litros
1.4.2	Resina aniónica débil			
	La capacidad de intercambio de la resina viene dada por la siguiente expresión:			
	Cap= Cap0 x A x B x C			
	Cap0 = Capacidad base	1.34 eq/l	@ 53.05 % de SO4	
	A = Corrección por CO2	0.89	@ 2.12 % de CO2 respecto al total de aniones intercambiables	
	B = Corrección por temperatura	1.02	@ 11 °C	
	C = Corrección por tiempo de corrida	0.98	@ > 8 horas de ciclo	
	En consecuencia:			
	Capacidad base	1.182 eq/l		
	Volumen de resina	9710.3 litros	Considerar	9710.0 litros
	Factor de seguridad	0.91		
	Volumen corregido	10681.87 litros	Emplear	10,682.00 litros
1.4.3	Secuencias de regeneración			
a)	Inyección de sosa			
	Nivel de regeneración	82 g NaOH/l	82.00	
	Consumo de NaOH	780.15 Kg/ciclo		
	Concentración de Inyección	3.50%		
	Volumen de NaOH @ 50%	1022.88 litros		
	Volumen de NaOH @ 3.5%	21.47 m3		
	Volumen de agua de dilución	20.45 m3		
	Caudal de regeneración	de 2 a 8 BV/h		
	Caudal seleccionado	4 BV/h		
	Flujo de regenerante diluido	38.06 m3/h		
	Tiempo de contacto	33.86 minutos	Seleccionar	34.00 minutos
	Flujo de reactivo concentrado	30.06 Lpm	1805.08 Lph	
	Flujo de agua de dilución	38.09 m3/h		
	Flujo de sosa diluida	37.90 m3/h		
b)	Desplazamiento			
	Tasa de desplazamiento			
	IRA57RF	3 BV	32.05 m3	
	IRA458RF	3 BV	28.54 m3	
			60.59 m3	
	Flujo de desplazamiento	38.08 m3/h		
	Tiempo de desplazamiento	100.73 minutos	Considerar	101 minutos
	Consumo de agua para desplazamiento	60.75 m3		
c)	Enjuague rápido			

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

El flujo de enjuague será de aproximadamente	158.40 m ³ /h
Enjuague a dren	3 minutos 7.92 m ³ /h

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de sosa	20.45 m ³	
Agua para desplazamiento	60.75 m ³	
Agua de enjuague	7.92 m ³	
	89.12 m ³	
Tiempo de regeneración	165.00 minutos	2.75 horas
Flujo ponderado por ciclo	7.43 m ³ /h	
Flujo bruto a la entrada de la unidad aniónica	166.32 m ³ /h	1985.84 m ³ / ciclo

e) Eficiencia de regeneración y sosa en exceso

Sosa consumida	780.15 Kg/ciclo	
	19,504 eq/ciclo	
Carga iónica removida	11,575.87 Unidad débil	
	5,021.63 Unidad fuerte	
Eficiencia de regeneración	388% Unidad fuerte	
	125% Unidad débil	
Sosa consumida	16,597.41 eq	
Sosa remanente	2,906.29 eq	116.25 Kg NaOH

1.5 Unidad catiónica

La unidad catiónica será del tipo lecho ampacado. Se alojarán tanto la resina débil como la fuerte en el mismo recipiente

Carga iónica:

Volumen consumido por unidad aniónica	1985.84 m ³			
Volumen consumido en regeneración	166.58 m ³	187.63		
Volumen bruto producido	2,195.42 m ³			
Calcio	250.00 mg CaCO ₃ /l	38.11%	548.86 Kg CaCO ₃ /ciclo	10,977.10 eq/ciclo
Magnesio	87.00 mg CaCO ₃ /l	13.26%	191.00 Kg CaCO ₃ /ciclo	3,820.03 eq/ciclo
Sodio	319.00 mg CaCO ₃ /l	48.63%	700.34 Kg CaCO ₃ /ciclo	14,006.78 eq/ciclo
Potasio	- mg CaCO ₃ /l	0.00%	- Kg CaCO ₃ /ciclo	- eq/ciclo
Total de cationes	656.00 mg CaCO ₃ /l	100.00%	1,440.20 Kg CaCO ₃ /ciclo	28,803.91 eq/ciclo
Bicarbonatos	279.00 mg CaCO ₃ /l	42.53%	612.52 Kg CaCO ₃ /ciclo	12,250.44 eq/ciclo
Cloruros	145.00 mg CaCO ₃ /l	22.10%	318.34 Kg CaCO ₃ /ciclo	6,366.72 eq/ciclo
Sulfatos	200.00 mg CaCO ₃ /l	30.48%	439.08 Kg CaCO ₃ /ciclo	8,781.68 eq/ciclo
Nitratos	32.00 mg CaCO ₃ /l	4.88%	70.25 Kg CaCO ₃ /ciclo	1,405.07 eq/ciclo
Fosfatos	- mg CaCO ₃ /l	0.00%	- Kg CaCO ₃ /ciclo	- eq/ciclo
Total de aniones	656.00 mg CaCO ₃ /l	100.00%	1,440.20 Kg CaCO ₃ /ciclo	28,803.91 eq/ciclo

En este caso no permitiremos saturación de la resina débil

En consecuencia:

Unidad	Catiónica débil		Catiónica fuerte		Totales
Calcio	10,977.10 eq/ciclo	89.61%	- eq/ciclo	0.00%	10,977.10 eq/ciclo
Magnesio	1,273.34 eq/ciclo	10.39%	2,546.69 eq/ciclo	15.38%	3,820.03 eq/ciclo
Sodio	- eq/ciclo	0.00%	14,006.78 eq/ciclo	84.62%	14,006.78 eq/ciclo
Potasio	- eq/ciclo	0.00%	- eq/ciclo	0.00%	- eq/ciclo
Total de cationes	12,250.44 eq/ciclo	100.00%	16,553.47 eq/ciclo	100.00%	28,803.91 eq/ciclo
Bicarbonatos	12,250.44 eq/ciclo	100.00%	- eq/ciclo	0.00%	12,250.44 eq/ciclo
Cloruros	- eq/ciclo	0.00%	6,366.72 eq/ciclo	38.46%	6,366.72 eq/ciclo

Sulfatos	-	eq/ciclo	0.00%	8,781.68	eq/ciclo	53.05%	8,781.68	eq/ciclo
Nitratos	-	eq/ciclo	0.00%	1,405.07	eq/ciclo	8.48%	1,405.07	eq/ciclo
Fosfatos	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo
Total de aniones	12,250.44	eq/ciclo	100.00%	16,553.47	eq/ciclo	100.00%	28,803.91	eq/ciclo

1.4.1 Resina catiónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración ideal, dadas las condiciones de fuga

Para lograr 1 mg/l de fuga con un sistema de lecho empaçado, es recomendable emplear un nivel mínimo de 86 g H2SO4/l

Nivel de regeneración 93.66 g/l

La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$Cap = Cap0 \times A \times B \times C \times D$$

Cap0 = Capacidad base	1 eq/l	94 g/l
A = corrección por sodio	1.12	64.62% de sodio
B = Corrección por alcalinidad	0.84	0% de alcalinidad
C = Corrección por profundidad de cama	1	Valor asumido a cama mínima
D = Corrección por temperatura	1.01	
E = Corrección por tiempo de corrida	0.89	12 horas
Capacidad corregida	1.05 eq/l	

Volumen Amberjet 1200 15,724.85 litros Emplear 15,725.00 litros

Factor de seguridad 0.95

Volumen corregido 16,589.18 litros Emplear 16,589.00 litros

Consumo de ácido 1,553.73 Kg
31,708.69 eq

Eficiencia de regeneración 192%

Acido gastado 28,803.91 eq
Acido remanente 2,904.78 eq 142.33 Kg
Sosa remanente 2,808.29 eq 116.25 Kg

Se requieren efluentes neutros, por lo tanto:

Dosificación corregida de ácido 31,710.20 eq 1,553.80 Kg
Nivel de regeneración corregido 93.66 g/l
Dosificación corregida de sosa 19,503.70 eq 780.15 Kg
Nivel de regeneración unidad aniónica 82.00 g/l

1.4.2 Resina catiónica débil

La capacidad de intercambio de la resina viene dada por la siguiente expresión:

$$Cap = Cap0 \times A \times B$$

Cap0 = Capacidad base	2.55 eq/l	una relación DT/ALK de 1.20
A = Corrección por total de cationes	1.11	
B = Corrección por carga de dureza	0.68	

En consecuencia:

Capacidad base 1.92 eq/l

Volumen de resina 6364.7 litros Considerar 6365.0 litros

Factor de seguridad 0.95

Volumen corregido 6700.00 litros Emplear 6,700.00 litros

1.4.3 Secuencias de regeneración

a) Inyección de ácido

Nivel de regeneración 93.66 g NaOH/l 1,553,800.04

Consumo de H2SO4 1,553.80 Kg/ciclo

Concentración de inyección 0.70% Primer paso
3% Segundo paso

Peso de inyección	1	2
Concentración	0.7%	3.0%
Fración dosificada	50.0%	50.0%
Consumo de ácido concentrado	778.90	778.90 Kg
Volumen de ácido concentrado	432.45	432.45 litros
Volumen de ácido diluido	110.51	25.43 m3
Volumen de agua de dilución	110.08	25.00 m3

Caudal de regeneración de 2 a 8 BV/h

Caudal seleccionado 5 5 BV/h

Flujo de regenerante diluido 82.95 82.95 m3/h

Tiempo de contacto 79.94 18.40 minutos Seleccionar 80.00 y 18.00 minutos

Flujo de reactivo concentrado 5.41 24.03 Lpm

Flujo de agua de dilución 82.56 83.33 m3/h Consumo 134.85 m3

Flujo de reactivo diluido 82.88 84.77 m3/h Consumo 135.38 m3

b) Desplazamiento

Taza de desplazamiento		
IRC84RF	2 BV	13.40 m3
1200H	2 BV	33.18 m3
		46.58 m3

Flujo de desplazamiento 82.56 m3/h

Tiempo de desplazamiento 33.85 minutos Considerar 34 minutos

Consumo de agua para desplazamiento 48.78 m3

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

El flujo de enjuague será de aproximadamente	120.00 m3/h
Enjuague a dren 3 minutos	6.00 m3/h

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de ácido	134.85 m3
Agua para desplazamiento	46.78 m3
Agua de enjuague	6.00 m3
	187.63 m3

Tiempo de regeneración 162.00 minutos 2.70 horas

Flujo ponderado por ciclo 15.84 m3/h

Flujo bruto a la entrada de la unidad catiónica 182.95 m3/h 2195.42 m3/ciclo

e) Eficiencia de regeneración y Acido en exceso

Acido consumido	28,803.91 eq/ciclo	
Acido sobrante	2,998.28 eq/ciclo	142.41 Kg H2SO4

Carga iónica removida	12,250.44 Unidad débil
	16,553.47 Unidad fuerte

Eficiencia de regeneración 192% Unidad fuerte

124% Unidad débil

Sosa consumida 16,597.41 eq/ciclo
 Sosa remanente 2,306.23 eq/ciclo 116.25 Kg NaOH

Efluentes neutros

2 Diseño del sistema de filtración

Flujo de producción por tren	182.95 m ³ /h	182.95
Numero de trenes por banco	3.00	
Cantidad en operación	2.00	
Producción total agua filtrada por banco	365.90 m ³ /h	
Filtros por banco	3.00	
Consumo de agua de lavado por filtro	66.73 m ³	66.73
Consumo total de la batería	200.19 m ³	
Duración del ciclo de filtración	10.00 horas	
Flujo ponderado de filtración extra	20.02 m ³ /h	
Flujo total de agua filtrada requerido	385.92 m ³ /h	
Flujo mínimo por filtro	128.64 m ³ /h	
Flujo máximo por filtro	192.96 m ³ /h	

Optaremos por un sistema de filtración de lecho profundo y alta velocidad de filtración (5, 6)

Por criterios de velocidad (5, 6), tendremos:

Velocidad promedio de operación	18.00 m ³ /h.m ²
Velocidad máxima de operación	28.00 m ³ /h.m ²

A estas condiciones, la superficie total de filtración requerida será de:

A velocidad promedio	21.44 m ²	
A velocidad máxima	13.78 m ²	
Area mínima por filtro	7.15 m ²	
Diámetro equivalente	3,017.30 mm	9.90 pies

Corregiremos el diámetro de los filtros a condición de flujo máximo

Diámetro seleccionado	3,048.00 mm	10.00 pies
Area de flujo por filtro	7.29 m ²	
Flujo mínimo por filtro	128.64 m ³ /h	Velocidad 17.64 m ³ /h.m ² 7.23 gpm/pie ²
Flujo máximo por filtro	192.96 m ³ /h	Velocidad 28.48 m ³ /h.m ² 10.84 gpm/pie ²

a) Secuencias de lavado

Retrolavado

Emplearemos la técnica de lavado con agua sola

Velocidad de retrolavado	36.6 m ³ /h.m ²
Flujo instantáneo de lavado	286.92 m ³ /h
Duración	15 minutos
Consumo de agua de lavado	66.73 m ³

Enjuague

Velocidad de enjuague	15 m ³ /h.m ²
Flujo de enjuague	109.39 m ³ /h
Duración	10 minutos
Consumo de agua de enjuague	18.23 m ³

Número de lavados por ciclo	3	
Consumo para retrolavado	200.19 m3	Por módulo
Consumo para enjuague	54.70 m3	Por módulo
Flujo promedio de alimentación a filtros	385.92 m3/h	
Flujo máximo de alimentación a filtros	485.32 m3/h	

3. Eficiencia del proceso

Volumen total de agua producida	7,803.20 m3/día	85.02%
Consumo para regeneración Catión	562.89 m3/día	6.28%
Consumo para regeneración anión	287.37 m3/día	2.98%
Consumo para retrolavado de filtros	400.38 m3/día	4.48%
Consumo para enjuague de filtros	109.36 m3/día	1.22%
Consumo de agua cruda	8,943.24 m3/día	100.00%
Eficiencia de proceso	85.02%	
Consumo de ácido	9,322.80 Kg/día	
Consumo de NaOH	4,680.89 Kg/día	

Alternativa 2

1 Dimensionamiento de la unidad desmineralizadora

1.1 Capacidad de producción

Capacidad máxima por tren	158.4 m ³ /h
Capacidad promedio por tren	158.4 m ³ /h

1.2 Carga iónica

Para la determinación de la carga iónica, se emplearán los valores previstos para el permeado de la ósmosis inversa, tomando la condición mas caliente, puesto que esa representa el mayor peso específico de sales

Tiempo de corrida entre regeneraciones	100 horas
Volumen neto tratado por ciclo	15840 m ³
Volumen bruto	15840 m ³

Carga iónica:

De acuerdo a los resultados de la corrida de cálculo del sistema de ósmosis Inversa. Tenemos el siguiente análisis de agua cruda de alimentación al Intercambio iónico:

Componente	Reportado Como	Valor	mg/l CaCO ₃	Carga Kg/ciclo	
Calcio	mg/l	1.29	3.23	51.06	
Magnesio	mg/l	0.28	1.15	18.18	
Sodio	mg/l	6.75	14.72	233.09	Ajustado para equilibrio
Potasio	mg/l	-	-	-	
Total de cationes	mg/l		19.09	302.35	
Bicarbonatos	mg/l	4.18	3.43	54.27	
Carbonatos	mg/l	-	-	-	
Cloruros	mg/l	3.83	5.39	85.45	
Sulfatos	mg/l	6.18	6.44	101.87	
Nitratos	mg/l	4.75	3.83	60.68	
Fosfatos	mg/l	-	-	-	
Total de aniones	mg/l		19.09	302.37	
Dureza total	CaCO ₃		4.37	69.28	
Dureza de calcio	CaCO ₃		3.23	51.06	
Dureza de magnesio	CaCO ₃		1.15	18.18	
Alcalinidad total	CaCO ₃		3.43	54.27	
Silicio	SiO ₂	0.47	0.39	6.20	
CO ₂	CO ₂	10.00	11.36	180.00	
Sólidos suspendidos totales	mg/l		-	-	
Sólidos disueltos totales	mg/l		28.98	459.04	
Sólidos totales	mg/l		28.98	459.04	
DBO ₅	mg/l		-	-	
DQO	mg/l		-	-	
Grasas y aceites	mg/l		-	-	
Fenoles	mg/l		-	-	
Nitrógeno amoniacal	mg/l		-	-	
Coliformes fecales	Col/ 100 ml		-	-	
pH	Unidades		4.51		
Detergentes	mg/l		-	-	

Análisis desbalanceado por la presencia de altas concentraciones de CO₂

1.3 Combinación de resinas

Debido a que en este caso estamos hablando de un permeado de ósmosis Inversa, recurriremos a las siguientes resinas de Intercambio iónico:

Las resinas a emplear serán las siguientes:

Catiónica fuertemente ácida	Amberjet 1200
Aniónica débilmente básica	IRA57RF

1.4 Unidad aniónica

La unidad aniónica será del tipo lecho empacado. Se elegirán tanto la resina débil como la fuerte en el mismo recipiente

Carga iónica:

Volumen neto producido por ciclo	15,840.00				
Volumen regeneración unidad aniónica	48.90		48.90		
Volumen agua desmineralizada UC	-				
Volumen bruto producido	15,888.90	m3			
Bicarbonatos	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo
Cloruros	5.39	mg CaCO3/l	34.44%	85.71	Kg CaCO3/ciclo
Sulfatos	8.44	mg CaCO3/l	41.10%	102.28	Kg CaCO3/ciclo
Nitratos	3.83	mg CaCO3/l	24.48%	60.86	Kg CaCO3/ciclo
Fosfatos	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo
Total aniones	16.66	mg CaCO3/l	100.00%	248.84	Kg CaCO3/ciclo
SiO2	0.47	mg CaCO3/l	1.84%	7.47	Kg CaCO3/ciclo
CO2	12.50	mg CaCO3/l	43.86%	196.61	Kg CaCO3/ciclo
Total de aniones intercambiables	28.63	mg CaCO3/l		454.94	Kg CaCO3/ciclo

No permitiremos que la resina débil se sobre-sature

En consecuencia:

Unidad	Aniónica débil	Aniónica fuerte		Total
Bicarbonatos	- eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00%	-
Cloruros	1,714.21 eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00%	1,714.21
Sulfatos	2,045.70 eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00%	2,045.70
Nitratos	936.38 eq/ciclo	280.91 eq/ciclo	0.00%	1,217.29
Fosfatos	- eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00%	-
Total aniones	4,696.29 eq/ciclo	280.91 eq/ciclo	0.00%	4,977.20
SiO2	- eq/ciclo	149.36 eq/ciclo	3.39%	149.36
CO2	- eq/ciclo	3,972.23 eq/ciclo	80.23%	3,972.23
Total de aniones intercambiables	4,696.29 eq/ciclo	4,402.48 eq/ciclo		9,098.78

1.4.1 Resina aniónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración Ideal, dadas las condiciones de fuga

Para lograr una fuga de 0.02 mg/l de SiO2, emplearemos la siguiente correlación:

$$\text{Leak} = \text{Leak}_0 \times A \times B \times C$$

Donde

Leak = fuga de sílice en mg/l

A = Corrección por contenido de sílice

1 @ 0 % de SO4

B = Corrección por temperatura

1.5 @ 25 °C

C = Corrección por temperatura de reg.

1 @ 25 °C

En consecuencia, para lograr 0.02 mg/l de SiO2, tenemos que la fuga base debe ser: 0.013

Se requiere un nivel de regeneración de 50 g/l. Sin embargo, la condición mandatoria será la regeneración de la resina débil que requiere un 125% de exceso sobre la carga iónica.

Como se ve mas adelante, la cantidad mínima requerida para la resina aniónica débil será de

234.81	Kg NaOH	125%
176.10	Kg NaOH	233%
410.91	Kg NaOH	

La cantidad de sosa para la carga iónica de la resina fuerte es de

A una primera iteración, tomando 0.7 eq/l como capacidad de intercambio

Volumen de resina 8,289.28 litros

Nivel de regeneración 65.34 g/l

Con este nivel calculado, La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$\text{Cap} = \text{CapD} \times D \times E \times F \times G$$

CapD = Capacidad base	0.74 eq/l	@ 74.74 g/l
D = Corrección por sulfatos	0.94	En condición de inicio de corrida sin fuga de la unidad débil
E = Corrección por CO2	1.10	@ 95.15% en condición crítica sin fuga de resina débil
F = Corrección por SiO2	1.00	@ 4.73% en condición crítica sin fuga de la resina débil
G = Corrección por punto de fuga	0.95	A un punto de fin de carrera de 100 ppb

Capacidad corregida 0.73 eq/l

Volumen de resina IRA 4200 6,056.52 litros Emplear 6,057.00 litros

Nivel de regeneración corregido 81.53 g/l

Sin embargo, considerando un nivel mínimo de regeneración de 80 g/l (Recomendación del fabricante de la resina)

Como segunda iteración, a estas condiciones, la capacidad será de :

Capacidad base	0.75 eq/l
Capacidad efectiva	0.74 eq/l
Volumen de resina IRA 4200	5,975.76 litros Emplear 5,976.00 litros
Factor de seguridad	0.89
Volumen corregido	6,678.00 litros Emplear 6,678.00 litros
Capacidad efectiva	0.86 eq/l
Nivel efectivo de regeneración	81.53

1.4.2 Resina aniónica débil

La capacidad de intercambio de la resina viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Cap} = \text{CapD} \times A \times B \times C$$

CapD = Capacidad base	1.31 eq/l	@ 37.62% de SO4
A = Corrección por CO2	0.97	@ 41.17 % de CO2 respecto al total de aniones intercambiables
B = Corrección por temperatura	1.04	@ 25 °C
C = Corrección por tiempo de corrida	1	@ > 24 horas de ciclo

En consecuencia:

Capacidad base	1.32 eq/l
Volumen de resina	3,553.68 litros Considerar 3,554.00 litros
Factor de seguridad	0.86
Volumen corregido	4,150.37 litros Emplear 4,150.00 litros
Capacidad efectiva	1.13 eq/l

1.4.3 Secuencias de regeneración

a) Inyección de sosa

Con el fin de lograr efluentes neutros, el nivel de regeneración de la unidad aniónica queda de la siguiente manera:

Nivel de regeneración corregido	80.00 g NaOH/l	80.00000
Consumo de NaOH	534.24 Kg/ciclo	
Concentración de inyección	4.00%	
Volumen de NaOH @ 50%	700.46 litros	
Volumen de NaOH @ 4%	12.81 m3	
Volumen de agua de dilución	12.11 m3	
Caudal de regeneración	de 2 a 8 BV/h	
Caudal seleccionado	4 BV/h	

Flujo de regenerante diluido	28.71 m3/h		
Tiempo de contacto	28.77 minutos	Seleccionar	30.00 minutos
Flujo de reactivo concentrado	23.35 Lpm	1400.92 Lph	
Flujo de agua de dilución	24.22 m3/h		
Flujo de sosa diluida	25.62 m3/h		

b) Desplazamiento

Taza de desplazamiento			
IRA93SP	3 BV	12.45 m3	
IRA4200	3 BV	20.03 m3	
		32.48 m3	
Flujo de desplazamiento	24.22 m3/h		
Tiempo de desplazamiento	80.49 minutos	Considerar	81 minutos
Consumo de agua para desplazamiento	32.09 m3		

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

El flujo de enjuague será aproximadamente de	82.04 m3/h
Enjuague a dren	4.10 m3

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de sosa	12.11 m3	
Agua para desplazamiento	32.89 m3	
Agua de enjuague	4.10 m3	
	48.90 m3	
Tiempo de regeneración	141.00 minutos	2.35 horas
Flujo ponderado por ciclo	0.49 m3/h	
Flujo bruto a la entrada de la unidad aniónica	158.89 m3/h	15,888.90 m3/ ciclo

e) Eficiencia de regeneración y sosa en exceso

Sosa consumida	534.24 Kg/ciclo	
	13,358 eq/ciclo	
Carga iónica removida	4,696.29 Unidad débil	
	4,402.49 Unidad fuerte	
	9,098.78 eq/ciclo	
Eficiencia de regeneración	303% Unidad fuerte	
	191% Unidad débil	
Sosa consumida	9,098.78 eq	
Sosa remanente	4,257.22 eq	170.29 Kg NaOH

1.5 Unidad catiónica

La unidad catiónica será del tipo lecho empacado. Debido a la composición del agua de alimentación se empleará solamente resina fuertemente ácida.

Carga iónica:

Volumen consumido por unidad aniónica	15,888.90 m3			
Volumen consumido en regeneración	33.62 m3	38.94		
Volumen bruto producido	15,922.52 m3			
Calcio	3.23 mg CaCO3/l	16.90%	51.35 Kg CaCO3/ciclo	1,027.00

Magnesio	1.15 mg CaCO3/l	8.01%	18.27 Kg CaCO3/ciclo	365.43
Sodio	14.72 mg CaCO3/l	77.08%	234.30 Kg CaCO3/ciclo	4,886.00
Potasio	- mg CaCO3/l	0.00%	- Kg CaCO3/ciclo	-
Total de cationes	18.09 mg CaCO3/l	100.00%	303.92 Kg CaCO3/ciclo	6,078.44

En consecuencia:

Unidad	Catiónica débil		Catiónica fuerte		Tot:
Calcio	- eq/ciclo	0.00%	1,027.00 eq/ciclo	16.90%	1,027.00
Magnesio	- eq/ciclo	0.00%	365.43 eq/ciclo	8.01%	365.43
Sodio	- eq/ciclo	0.00%	4,886.00 eq/ciclo	77.08%	4,886.00
Potasio	- eq/ciclo	0.00%	- eq/ciclo	0.00%	-
Total de cationes	- eq/ciclo	0.00%	6,078.44 eq/ciclo	100.00%	6,078.44

1.5.1 Resina catiónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración ideal, dadas las condiciones de fuga

Para lograr 1 mg/l de fuga con un sistema de lecho empacado, es recomendable emplear un nivel mínimo de 70 g H2SO4/l

La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$Cap = Cap0 \times A \times B \times C \times D$$

Cap0 = Capacidad base	0.87 eq/l	@ 70 g/l
A = corrección por sodio	1.1	@ 77.42% de sodio
B = Corrección por alcalinidad	0.98	@ 14.58% de alcalinidad
C = Corrección por profundidad de cama	0.98	Valor asumido a cama mínima
D = Corrección por temperatura	1.03	@ 25 oC
E = Corrección por tiempo de corrida	1	@ 8 horas
Capacidad corregida	0.93 eq/l	
Volumen Amberjet 1200	6,554.59 litros	Emplear 6,555.00 litros
Factor de seguridad	0.8512	
Volumen corregido	7700.49 litros	Emplear 7,700.00 litros
Consumo de ácido	507.28 Kg 10,352.57 eq	
Eficiencia de regeneración	170%	
Ácido gastado	6,078.44 eq	
Ácido remanente	4,274.14 eq	209.43 Kg
Sosa remanente	4,257.22 eq	170.29 Kg
Se requieren efluentes neutros, por lo tanto:		
Dosificación corregida de ácido	10,335.65 eq	506.45 Kg
Nivel de regeneración corregido	65.77 g/l	
Dosificación corregida de sosa	13,356.00 eq	534.24 Kg
Nivel de regeneración unidad aniónica	80.00 g/l	

1.5.2 Secuencias de regeneración

a) Inyección de ácido

Razón de regeneración	1.5096684
pCa	0.16896
Factor de riesgo de precipitación	8.94
Concentración de regeneración	3%
Nivel de regeneración	65.77 g H2SO4/l
Consumo de H2SO4	506.43 Kg/ciclo
Concentración de inyección	3.00% Primer paso

Peso de inyección	1
Concentración	3.0%
Fracción dosificada	100.0%
Consumo de ácido concentrado	506.43 Kg
Volumen de ácido concentrado	281.90 litros
Volumen de ácido diluido	16.58 m ³
Volumen de agua de dilución	16.30 m ³

Caudal de regeneración de 2 a 8 BV/h

Caudal seleccionado 2 BV/h

Flujo de regenerante diluido 15.40 m³/h

Tiempo de contacto 64.59 minutos Seleccionar 65.00 minutos

Flujo de reactivo concentrado 4.34 Lpm

Flujo de agua de dilución 15.04 m³/h Consumo 16.30 m³

Flujo de reactivo diluido 15.30 m³/h Consumo 16.58 m³

b) Desplazamiento

Taza de desplazamiento 1200H 2 BV 15.40 m³
15.40 m³

Flujo de desplazamiento 15.04 m³/h

Tiempo de desplazamiento 61.43 minutos Considerar 62 minutos

Consumo de agua para desplazamiento 15.54 m³

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

Flujo de enjuague 82.04 m³/h
Consumo de agua 4.10 m³

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de ácido 16.30 m³
Agua para desplazamiento 15.54 m³
Agua de enjuague 4.10 m³
36.94 m³

Tiempo de regeneración 167.00 minutos 2.62 horas

Flujo ponderado por ciclo 0.36 m³/h

Flujo bruto a la entrada de la unidad catiónica 159.23 m³/h 15,922.52 m³/ciclo

e) Eficiencia de regeneración y Ácido en exceso

Ácido consumido 6,078.44 eq/ciclo
Ácido sobrante **4,267.22** eq/ciclo 208.60 Kg H₂SO₄

Carga iónica removida - Unidad débil
6,078.44 Unidad fuerte

Eficiencia de regeneración 170% Unidad fuerte

Sosa consumida 9,008.78 eq/ciclo
Sosa remanente **4,267.22** eq/ciclo 170.29 Kg NaOH

Efluentes neutros

2 Diseño del sistema de ósmosis inversa

De acuerdo al cálculo del sistema desmineralizador, el balance hidráulico indica que el consumo neto a la entrada del intercambio iónico es de:

Caudal por tren	160.00 m ³ /h	3,840.00 m ³ /día
-----------------	--------------------------	------------------------------

De acuerdo a la corrida de cálculo del sistema de ósmosis inversa, se emplearán tres módulos de 200.36 m³/h de producción constituidos cada uno de ellos, en la siguiente forma:

Número de pasos				
Paso 1:				
Tubos a presión:	30			
No. De membranas por tubo	6			
Total de membranas	180			
Paso 2:				
Tubos a presión:	15			
No. De membranas por tubo	6			
Total de membranas	90			
Total de membranas				
	270			
Área superficial por membrana	33.91 m ²			
Producción diaria	3,840.00 m ³			
Caudal específico	17.48 l/h.m ²	equivalente a	10.34 gfd	Recomendado de 10 para ag residual, máximo 12
Caudal neto de alimentación	213.33 m ³ /h			
Caudal de recirculación interna	35.00 m ³ /h			
Caudal Bruto alimentado	248.33			
Recuperación bruta				
	64.43%			
Recuperación neta				
	75.00%			
Presión de alimentación				
	11.93 bar			

a) Dosificación de bisulfito de sodio

Dosis específica	5 ppm
Consumo de bisulfito	1.07 Kg/h
Concentración	40%
Contenido de agente activo	400.00 Kg/m ³
Dosificación de bisulfito	2.67 Lph
Consumo diario por tren	64.00 litros

Considerar como criterio de diseño que cada tren cuenta con su propia bomba dosificadora

b) Anti-incrustante

Dosis específica	5 ppm
Consumo de anti-incrustante	1.07 Kg/h
Concentración	30%
Contenido de agente activo	300.00 Kg/m ³
Dosificación de anti incrustante	3.56 Lph
Consumo diario por tren	85.33 litros

Considerar como criterio de diseño que cada tren cuenta con su propia bomba dosificadora

c) Ácido sulfúrico

Dosis específica	213.37 ppm
Consumo de ácido	45.52 Kg/h
Concentración	98%
Contenido de agente activo	1,799.55 Kg/m ³
Dosificación de ácido	25.29 Lph
Consumo diario por tren	607.07 litros
Dosificación total al cabezal común	50.58 Lph

Considerar como criterio que el ajuste de pH sea en el cabezal común

3 Diseño del sistema de filtración

Flujo de producción por tren	213.33 m ³ /h	10,240.00 m ³ /día
Número de trenes por banco	4.00	
Cantidad en operación	3.00	
Producción total agua filtrada por banco	640.00 m ³ /h	

Consumo de agua de lavado por filtro	68.73 m ³	86.73	
Consumo total de la batería	200.19 m ³ /ciclo		480.456 m ³ /die
Duración del ciclo de filtración	10.00 horas		
Flujo ponderado de filtración extra	20.02 m ³ /h		
Flujo total de agua filtrada requerido	880.02 m ³ /h	15,840.46	m ³ /die
Flujo mínimo por filtro	185.00 m ³ /h		
Flujo máximo por filtro	220.01 m ³ /h		

Optaremos por un sistema de filtración de lecho profundo y alta velocidad de filtración (5, 6)

Por criterios de velocidad (5, 6), tendremos:

Velocidad promedio de operación	18.00 m ³ /h.m ²
Velocidad máxima de operación	28.00 m ³ /h.m ²

A estas condiciones, la superficie total de filtración requerida será de:

A velocidad promedio	36.67 m2	
A velocidad máxima	23.57 m2	
Area mínima por filtro	7.86 m2	
Diámetro equivalente	3.18 m	10.38 pies

Corregiremos el diámetro de los filtros a condición de flujo máximo

Area por filtro	7.86 m ²		
Diámetro equivalente	3,183.78 mm	10.38	pies
Diámetro seleccionado	3,048.00 mm	10.00	pies
Area de flujo por filtro	7.29 m ²		
Flujo mínimo por filtro	185.00 m ³ /h	Velocidad	22.63 m ³ /h.m ² 9.27 gpm/pla ²
Flujo máximo por filtro	220.01 m ³ /h	Velocidad	30.17 m ³ /h.m ² 12.38 gpm/pla ²

a) Secuencias de lavado

Retrolavado

Emplearemos la técnica de lavado con agua sola

Velocidad de retrolavado	36.6 m ³ /h.m ²
Flujo instantáneo de lavado	268.92 m ³ /h
Duración	15 minutos
Consumo de agua de lavado	68.73 m ³

Enjuague

Velocidad de enjuague	15 m ³ /h.m ²
Flujo de enjuague	109.39 m ³ /h
Duración	10 minutos
Consumo de agua de enjuague	18.23 m ³

Número de lavados por ciclo	3
Consumo para retrolavado	200.19 m ³
Consumo para enjuague	54.70 m ³
Flujo promedio de alimentación a filtros	880.02 m ³ /h
Flujo máximo de alimentación a filtros	789.41 m ³ /h

4 Efficiencia del proceso

Volumen total de agua producida	7,803.20 m3/día	70.30%	31680	70.30%
Consumo para regeneración Catlon	17.25 m3/día	0.16%	71.8809572	0.16%
Consumo para regeneración anión	23.47 m3/día	0.22%	97.8035541	0.22%
Consumo para retrolavado de filtros	480.46 m3/día	4.44%	2001.89793	4.44%
Consumo para enjuague de filtros	131.27 m3/día	1.21%	546.966648	1.21%
Rechazo de ósmosis inversa	2,560.00 m3/día	23.67%	10866.6667	23.67%
Consumo de agua cruda	10,815.65 m3/día		45065.2158	100.00%
Eficiencia de proceso	70.30%	100.00%		

Alternative 3

1 Dimensionamiento de la unidad desmineralizadora

1.1 Modulación:

Considerando tres trenes en servicio:

Capacidad máxima por tren	166.4 m ³ /h
Capacidad promedio por tren	166.4 m ³ /h

1.2 Carga iónica

Para la determinación de la carga iónica, se emplearán los valores previstos para el permeado de la ósmosis inversa, tomando la condición más oscura, puesto que esa representa el mayor paso específico de sales.

Tiempo de corrida entre regeneraciones	120 horas
Volumen neto tratado por ciclo	19008 m ³
Volumen bruto	19008 m ³

Carga iónica:

Componente	Reportado Como	Valor	mg/l CaCO ₃	Carga Kg/ciclo
Calcio	mg/l	-	-	-
Magnesio	mg/l	-	-	-
Sodio	mg/l	8.15	17.77	337.72
Potasio	mg/l	-	-	-
Total de cationes	mg/l	-	17.77	337.72
Bicarbonatos	mg/l	0.96	0.79	14.96
Carbonatos	mg/l	0.13	0.22	4.10
Cloruros	mg/l	4.91	6.92	131.46
Sulfatos	mg/l	5.13	5.34	101.41
Nitritos	mg/l	5.60	4.52	86.84
Fosfatos	mg/l	-	-	-
Total de aniones	mg/l	-	17.77	337.78
Dureza total	CaCO ₃	-	-	-
Dureza de calcio	CaCO ₃	-	-	-
Dureza de magnesio	CaCO ₃	-	-	-
Alcalinidad total	CaCO ₃	-	1.00	19.07
Silicio	SiO ₂	0.81	0.88	12.83
CO ₂	CO ₂	-	-	-
Sólidos suspendidos totales	mg/l	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/l	-	25.80	490.41
Sólidos totales	mg/l	-	25.80	490.41
DBO ₅	mg/l	-	-	-
DQO	mg/l	-	-	-
Grasas y aceites	mg/l	-	-	-
Fenoles	mg/l	-	-	-
Nitrógeno amoniacal	mg/l	-	-	-
Coliformes fecales	Col/ 100 ml	-	-	-
pH	Unidades	-	9.45	-
Detergentes	mg/l	-	-	-

Análisis desbalanceado por la presencia de altas concentraciones de CO₂

1.3 Combinación de resinas

Debido a que en este caso estamos hablando de un permeado de ósmosis inversa, recurriremos a las siguientes resinas de intercambio iónico:

Las resinas a emplear serán las siguientes:

Catiónica fuertemente ácida	Amberjet 1200
Aniónica fuertemente básica	IRA458RF

1.4 Unidad aniónica

La unidad aniónica será del tipo lecho empujado.

Carga iónica:

Volumen neto producido por ciclo	19008	
Volumen regeneración unidad aniónica	57.00	49.38
Volumen agua desmineralizada UC	42.00	41.36

Volumen bruto producido

19,107.00 m³

Bicarbonatos	0.79 mg CaCO ₃ /l	4.43%	15.04 Kg CaCO ₃ /ciclo	300.82 eq/ciclo
Carbonatos	0.22 mg CaCO ₃ /l	1.21%	4.12 Kg CaCO ₃ /ciclo	82.47 eq/ciclo
Cloruros	8.92 mg CaCO ₃ /l	38.92%	132.14 Kg CaCO ₃ /ciclo	2,642.80 eq/ciclo
Sulfatos	5.34 mg CaCO ₃ /l	30.02%	101.94 Kg CaCO ₃ /ciclo	2,038.79 eq/ciclo
Nitratos	4.82 mg CaCO ₃ /l	25.41%	86.29 Kg CaCO ₃ /ciclo	1,725.79 eq/ciclo
Fosfatos	- mg CaCO ₃ /l	0.00%	- Kg CaCO ₃ /ciclo	- eq/ciclo
Total aniones	17.77 mg CaCO₃/l	100.00%	329.54 Kg CaCO₃/ciclo	6,790.77 eq/ciclo
SiO ₂	0.58 mg CaCO ₃ /l	3.48%	12.90 Kg CaCO ₃ /ciclo	257.94 eq/ciclo
CO ₂	0.96 mg CaCO ₃ /l	4.94%	18.33 Kg CaCO ₃ /ciclo	366.55 eq/ciclo
Total de aniones intercambiables	18.40 mg CaCO₃/l		370.78 Kg CaCO₃/ciclo	7,416.27 eq/ciclo

En consecuencia:

Unidad	Antónica débil	Antónica fuerte	Totales
Bicarbonatos	- eq/ciclo	300.82 eq/ciclo	4.06% 300.82 eq/ciclo
Carbonatos	- eq/ciclo	82.47 eq/ciclo	1.11% 82.47 eq/ciclo
Cloruros	- eq/ciclo	2,642.80 eq/ciclo	35.54% 2,642.80 eq/ciclo
Sulfatos	- eq/ciclo	2,038.79 eq/ciclo	27.40% 2,038.79 eq/ciclo
Nitratos	- eq/ciclo	1,725.79 eq/ciclo	23.27% 1,725.79 eq/ciclo
Fosfatos	- eq/ciclo	- eq/ciclo	0.00% - eq/ciclo
Total aniones	- eq/ciclo	6,790.77 eq/ciclo	91.68% 6,790.77 eq/ciclo
SiO ₂	- eq/ciclo	257.94 eq/ciclo	3.48% 257.94 eq/ciclo
CO ₂	- eq/ciclo	366.55 eq/ciclo	4.94% 366.55 eq/ciclo
Total de aniones intercambiables	- eq/ciclo	7,416.27 eq/ciclo	100.00% 7,416.27 eq/ciclo

1.4.1 Resina aniónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración ideal, todas las condiciones de fuga

Para lograr una fuga de 0.02 mg/l de SiO₂, emplearemos la siguiente correlación:

$$Leak = Leak_0 \times A \times B \times C$$

Dónde

Leak = fuga de sílice en mg/l

A = Corrección por contenido de sílice

1 @ 3.5 % de SiO₂

B = Corrección por temperatura

1.5 @ 25 °C

C = Corrección por temperatura de reg.

1 @ 25 °C

En consecuencia, para lograr 0.02 mg/l de SiO₂, tenemos que la fuga base debe ser: 0.013

Se requiere un nivel de regeneración de 60 g/l

Este valor se verificará con los requisitos para producir efluentes neutros

La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$Cap = Cap_0 \times D \times E \times F \times G$$

Cap₀ = Capacidad base

0.70 eq/l @ 60 g/l

D = Corrección por sulfatos

0.87 @ 27% de sulfatos

E = Corrección por CO₂

0.98 @ 5% de CO₂

F = Corrección por SiO₂

1.00 @ 3.48%

G = Corrección por punto de fuga

0.95 A un punto de fin de cama de 100 ppb

Capacidad corregida 0.63 eq/l

Volumen de resina IRA 458 11,730.25 litros Emplear 11,730.00 litros

Factor de seguridad 0.93

Volumen corregido 12,537.41 litros Emplear 12,550.00 litros

Capacidad efectiva 0.59 eq/l

1.4.2 Secuencias de regeneración

a) Inyección de sosa

Nivel de regeneración	60.00 g NaOH/l	60.00	
Consumo de NaOH	753.00 Kg/ciclo		
Concentración de inyección	4.00%		
Volumen de NaOH @ 50%	987.28 litros		
Volumen de NaOH @ 4%	18.05 m3		
Volumen de agua de dilución	17.07 m3		
Caudal de regeneración	de 2 a 8 BV/h		
Caudal seleccionado	2 BV/h		
Flujo de regenerante diluido	25.10 m3/h		
Tiempo de contacto	43.16 minutos	Seleccionar	46.00 minutos
Flujo de reactivo concentrado	21.94 Lpm	1316.38 Lph	
Flujo de agua de dilución	22.75 m3/h		
Flujo de sosa diluida	24.07 m3/h		

b) Desplazamiento

Taza de desplazamiento IRA4200	2 BV	25.10 m3	
		26.10 m3	
Flujo de desplazamiento	22.75 m3/h		
Tiempo de desplazamiento	66.18 minutos	Considerar	67 minutos
Consumo de agua para desplazamiento	25.41 m3		

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

Flujo de enjuague	118.13 m3/h
Consumo de agua	6.91 m3

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de sosa	17.07 m3	
Agua para desplazamiento	25.41 m3	
Agua de enjuague	5.91 m3	
	48.38 m3	
Tiempo de regeneración	142.00 minutos	2.37 horas
Flujo ponderado por ciclo	0.40 m3/h	
Flujo bruto a la entrada de la unidad aniónica	159.23 m3/h	19107.00 m3/ ciclo

e) Eficiencia de regeneración y sosa en exceso

Sosa consumida	753.00 Kg/ciclo	
	18,826 eq/ciclo	
Carga iónica removida	- Unidad débil	
	7,415.27 Unidad fuerte	
Eficiencia de regeneración	254% Unidad fuerte	
	0% Unidad débil	
Sosa consumida	7,415.27 eq	
Sosa remanente	11,409.73 eq	456.39 Kg NaOH

1.5 Unidad catiónica

La unidad catiónica será del tipo lecho empacado. Se alojarán tanto la resina débil como la fuerte en el mismo recipiente

Carga iónica:

Volumen consumido por unidad aniónica	19,107.00 m3	
Volumen consumido en regeneración	42.00 m3	41.36

Volumen bruto producido

19,149.00 m3

Calcio	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Magnesio	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Sodio	17.77	mg CaCO3/l	100.00%	340.22	Kg CaCO3/ciclo	8,804.41	eq/ciclo
Potasio	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Total de cationes	17.77	mg CaCO3/l	100.00%	340.22	Kg CaCO3/ciclo	8,804.41	eq/ciclo
Bicarbonatos	0.79	mg CaCO3/l	4.43%	15.07	Kg CaCO3/ciclo	301.48	eq/ciclo
Carbonatos	0.22	mg CaCO3/l	1.21%	4.13	Kg CaCO3/ciclo	82.65	eq/ciclo
Cloruros	8.92	mg CaCO3/l	38.92%	132.44	Kg CaCO3/ciclo	2,648.71	eq/ciclo
Sulfatos	5.34	mg CaCO3/l	30.02%	102.16	Kg CaCO3/ciclo	2,043.27	eq/ciclo
Nitratos	4.52	mg CaCO3/l	25.41%	86.48	Kg CaCO3/ciclo	1,729.59	eq/ciclo
Fosfatos	-	mg CaCO3/l	0.00%	-	Kg CaCO3/ciclo	-	eq/ciclo
Total de aniones	17.77	mg CaCO3/l	100.00%	340.28	Kg CaCO3/ciclo	6,806.70	eq/ciclo

En consecuencia:

Unidad	Catiónica débil		Catiónica fuerte		Totales	
Calcio	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo	0.00%
Magnesio	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo	0.00%
Sodio	-	eq/ciclo	0.00%	6,804.41	eq/ciclo	100.00%
Potasio	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo	0.00%
Total de cationes	-	eq/ciclo	0.00%	6,804.41	eq/ciclo	100.00%
Bicarbonatos	-	eq/ciclo	0.00%	301.48	eq/ciclo	4.43%
Bicarbonatos	-	eq/ciclo	0.00%	82.65	eq/ciclo	1.21%
Cloruros	-	eq/ciclo	0.00%	2,648.71	eq/ciclo	38.92%
Sulfatos	-	eq/ciclo	0.00%	2,043.27	eq/ciclo	30.02%
Nitratos	-	eq/ciclo	0.00%	1,729.59	eq/ciclo	25.41%
Fosfatos	-	eq/ciclo	0.00%	-	eq/ciclo	0.00%
Total de aniones	-	eq/ciclo	0.00%	6,806.70	eq/ciclo	100.00%

1.5.1 Resina catiónica fuerte

Para determinar la capacidad, es necesario determinar el nivel de regeneración ideal, dadas las condiciones de fuga

Para lograr 1 mg/l de fuga con un sistema de lecho empacado, es recomendable emplear un nivel mínimo de 70 g H2SO4/l

Sin embargo, como se ve mas adelante, es necesario incrementar el consumo de ácido para obtener efluentes neutros

Nivel de regeneración corregido 142.00 g/l 141.67

La capacidad de intercambio viene expresada por la siguiente correlación:

$$\text{Cap} = \text{Cap}_0 \times A \times B \times C \times D$$

Cap ₀ = Capacidad base	1.09 eq/l	
A = corrección por sodio	1.16	@ 100% de sodio
B = Corrección por alcalinidad	0.95	@ 11.19% de alcalinidad
C = Corrección por profundidad de cama	1.02	Valor asumido a cama mínima
D = Corrección por temperatura	1.02	@ 25 °C
E = Corrección por tiempo de corrida	1.01	@ T > 25h
Capacidad corregida	1.25 eq/l	

Volumen Amberjet 1200 5,437.77 litros Emplear 5,438.00 litros

Factor de seguridad 0.86

Volumen corregido 6250.31 litros Emplear 6,300.00 litros

Consumo de ácido 884.60 Kg
18,257.14 eq

Eficiencia de regeneración 268%

Acido gastado	6,804.41 eq	
Acido remanente	11,452.74 eq	581.18 Kg
Sosa remanente	11,409.73 eq	456.39 Kg

Se requieren efluentes neutros, por lo tanto:

Dosificación corregida de ácido	18,214.14 eq	892.49 Kg
Nivel de regeneración corregido	141.67 g/l	
Dosificación corregida de sosa	18,825.00 eq	753.00 Kg
Nivel de regeneración unidad aniónica	80.00 g/l	

1.5.2 Secuencias de regeneración

a) Inyección de ácido

Nivel de regeneración	141.67 g NaOH/l		
Consumo de H ₂ SO ₄	892.49 Kg/ciclo		
Concentración de inyección	4.00%		
Paso de inyección	1		
Concentración	4.0%		
Fracción dosificada	100.0%		
Consumo de ácido concentrado	892.49 Kg		
Volumen de ácido concentrado	496.80 Litros		
Volumen de ácido diluido	21.77 m ³		
Volumen de agua de dilución	21.27 m ³		
Caudal de regeneración	de 2 a 8 BV/h		
Caudal seleccionado	4 BV/h		
Flujo de regenerante diluido	25.20 m ³ /h		
Tiempo de contacto	51.63 minutos	Seleccionar	60.00 minutos
Flujo de reactivo concentrado	8.28 Lpm		
Flujo de agua de dilución	21.27 m ³ /h	Consumo	21.27 m ³
Flujo de reactivo diluido	21.77 m ³ /h	Consumo	21.77 m ³

b) Desplazamiento

Taza de desplazamiento 1200H	2 BV	12.60 m ³ 12.60 m ³	
Flujo de desplazamiento	21.27 m ³ /h		
Tiempo de desplazamiento	35.54 minutos	Considerar	40 minutos
Consumo de agua para desplazamiento	14.18 m ³		

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

Flujo de enjuague	118.13 m ³ /h
Consumo de enjuague	5.91 m ³

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de ácido	21.27 m ³	
Agua para desplazamiento	14.18 m ³	
Agua de enjuague	5.91 m ³	
	41.36 m ³	
Tiempo de regeneración	130.00 minutos	2.17 horas
Flujo ponderado por ciclo	0.34 m ³ /h	
Flujo bruto a la entrada de la unidad catiónica	159.58 m ³ /h	19149.00 m ³ /ciclo

e) Eficiencia de regeneración y Acido en exceso

Acido consumido	8,804.41 eq/ciclo	
Acido sobrante	11,406.73 eq/ciclo	559.08 Kg H ₂ SO ₄
Carga iónica removida	- Unidad débil	
	8,806.70 Unidad fuerte	
Eficiencia de regeneración	288% Unidad fuerte	
Sosa consumida	7,415.27 eq/ciclo	
Sosa remanente	11,406.73 eq/ciclo	456.39 Kg NaOH
Efluentes neutros		

2 Diseño del sistema de ósmosis inversa

De acuerdo al cálculo del sistema desmineralizador, el balance hidráulico indica que el consumo neto a la entrada del intercambio iónico es de:

Caudal por tren 160.00 m³/h

De acuerdo a la corrida de cálculo del sistema de ósmosis inversa, se emplearán tres módulos de 200.83 m³/h de producción constituidos cada uno de ellos, en la siguiente forma:

Numero de pasos	3				
Paso 1:					
Tubos a presión:	24				
No. De membranas por tubo	6				
Total de membranas	144				
Paso 2:					
Tubos a presión:	12				
No. De membranas por tubo	6				
Total de membranas	72				
Paso 3:					
Tubos a presión:	6				
No. De membranas por tubo	6				
Total de membranas	36				
Total de membranas	252				
Area superficial por membrana	33.91	m ²			
Producción diaria	3,840.00	m ³			
Caudal específico	18.72	l/h.m ²	equivalente a	11.08	gld
					Recomendado de 10 para agua residual, máximo 12
Caudal neto de alimentación	177.78	m ³ /h			
Caudal de recirculación interna	36.00	m ³ /h			
Caudal Bruto alimentado	212.78				
Recuperación bruta	75.20%				
Recuperación neta	90.00%				
Presión de alimentación	13.41	bar			

a) Dosificación de bisulfito de sodio

Dosis específica	5	ppm
Consumo de bisulfito	0.89	Kg/h
Concentración	40%	
Contenido de agente activo	400.00	Kg/m ³
Dosificación de bisulfito	2.22	Lph
Consumo diario por tren	53.33	litros

Considerar como criterio de diseño que cada tren cuente con su propia bomba dosificadora

b) Anti-incrustante

Dosis específica	5	ppm
Consumo de anti-incrustante	0.89	Kg/h
Concentración	30%	
Contenido de agente activo	300.00	Kg/m ³
Dosificación de agente químico	2.96	Lph
Consumo diario por tren	71.11	litros

Considerar como criterio de diseño que cada tren cuente con su propia bomba dosificadora

c) Hidróxido de sodio

La calidad de agua esperada a la salida del intercambiador catiónico débil y del desgasificador es la siguiente:

Componente	Reportado Como	Catión débil	Desgasificador
		mg/l CaCO ₃	
Calcio	mg/l	-	-
Magnesio	mg/l	-	-
Sodio	mg/l	404.59	404.59
Potasio	mg/l	-	-
Total de cationes	mg/l	404.59	404.59
Bicarbonatos	mg/l	27.59	27.59
Carbonatos	mg/l	-	-
Cloruros	mg/l	145.00	145.00
Sulfatos	mg/l	200.00	200.00
Nitratos	mg/l	32.00	32.00
Fosfatos	mg/l	-	-
Total de aniones	mg/l	404.59	404.59
Dureza total	CaCO ₃	-	-

Dureza de calcio	CaCO ₃	-	-
Dureza de magnesio	CaCO ₃	-	-
Alcalinidad total	CaCO ₃	27.59	27.59
Silice	SiO ₂	25.00	25.00
CO ₂	CO ₂	285.30	12.50
pH	Unidades	5.30	6.6

Para llegar al pH de 10, es necesario eliminar todo el CO₂, convirtiéndolo a bicarbonatos y convertir parte de los bicarbonatos a carbonatos

Consumo para eliminar CO ₂	13.75 mg/l		
HCO ₃ producidos	20.97 mg/l	equivalente a	17.19 mg CaCO ₃ /l
Na introducido	7.91 mg/l	equivalente a	17.19 mg CaCO ₃ /l

Para llegar a un pH de 10, considerando la alcalinidad total resultante de 70.00 mg CaCO₃/l

Impulsa una alcalinidad a la fenolftaleína, aproximadamente de 24.00 mg CaCO₃/l

Cantidad de carbonatos requerida 48.00 mg CaCO₃/l

Consumo requerido de sosa	19.20 mg/l		
CO ₂ producido	28.80 mg/l	equivalente a	48.00 mg CaCO ₃ /l
HCO ₃ consumido	29.28 mg/l	equivalente a	24.00 mg CaCO ₃ /l
Sodio introducido	11.04 mg/l	equivalente a	24.00 mg CaCO ₃ /l
	7.82		

Balace	Inicial	Final
Sodio	404.59	445.78
Total de catiões	404.59	445.78
Bicarbonatos	27.59	20.78
Carbonatos	-	48.00
Cloruros	145.00	145.00
Sulfatos	200.00	200.00
Nitratos	32.00	32.00
Fosfatos	-	-
Total de aniones	404.59	445.78
Alcalinidad M	68.78	
Alcalinidad P	24.00	
pH estimado	10.00	

Dosis específica	32.95 ppm
Consumo de hidróxido de sodio	5.86 Kg/h
Concentración	50%
Contenido de agente activo	782.70 Kg/m ³
Dosificación de sosa	7.68 Lph
Consumo diario por tren	184.33 litros
Dosificación total al cabezal común	23.04 Lph

Considerar como criterio que el ajuste de pH sea en el cabezal común

3 Diseño del sistema de dosificación

Capacidad de producción 355.58 m³/h

Para maximizar la eficiencia de suavización, es necesario acondicionar el agua de alimentación, agregando alcalinidad.

Como puede verse en el balance de materiales, la calidad del agua filtrada es la siguiente:

Componente	Reportado Como	mgCaCO ₃ /l
Calcio	mg/l	250.00
Magnesio	mg/l	87.00
Sodio	mg/l	319.00
Potasio	mg/l	-
Total de cationes	mg/l	656.00
Bicarbonatos	mg/l	279.00
Carbonatos	mg/l	-
Cloruros	mg/l	145.00
Sulfatos	mg/l	200.00
Nitratos	mg/l	32.00
Fosfatos	mg/l	-
Total de aniones	mg/l	656.00
Dureza total	CaCO ₃	337.00
Dureza de calcio	CaCO ₃	250.00
Dureza de magnesio	CaCO ₃	87.00

Alcalinidad total	CaCO3	279.00
Silice	SiO2	25.00
CO2	CO2	27.90
pH	Unidades	7.30

Relación dureza/ alcalinidad

1.21

Optando por un sistema de recirculación, que permita el retorno de CO2 y alcalinidad, podemos pensar en los siguientes análisis:

Tasa de retorno

13.88%

Dosis NaOH

90.23 mg/l

Considerando un excedente de 10%

Componente	Reportado Como	Agua filtrada	Retorno	Mezcla	NaOH
Calcio	mg CaCO3/l	250.00	-	219.91	219.91
Magnesio	mg CaCO3/l	87.00	-	76.53	76.53
Sodio	mg CaCO3/l	319.00	404.59	329.30	404.59
Potasio	mg CaCO3/l	-	-	-	-
Total de cationes	mg CaCO3/l	656.00	404.59	625.74	701.03
Bicarbonatos	mg CaCO3/l	279.00	29.00	248.91	310.51
Carbonatos	mg CaCO3/l	-	-	-	13.99
Cloruros	mg CaCO3/l	145.00	145.00	145.00	145.00
Sulfatos	mg CaCO3/l	200.00	200.00	200.00	200.00
Nitratos	mg CaCO3/l	32.00	32.00	32.00	32.00
Fosfatos	mg CaCO3/l	-	-	-	-
Total de aniones	mg CaCO3/l	656.00	408.00	625.91	701.20
Dureza total	mg CaCO3/l	337.00	-	296.44	296.44
Dureza de calcio	mg CaCO3/l	250.00	-	219.91	219.91
Dureza de magnesio	mg CaCO3/l	87.00	-	76.53	76.53
Alcalinidad total	mg CaCO3/l	279.00	31.88	249.28	324.20
Silice	mg/l SiO2	25.00	-	25.00	25.00
CO2	mg/l CO2	27.90	296.56	60.23	-
pH	Unidades	7.30	-	-	-

0.91

De esta manera, la mezcla de alimentación al descalcificador tiene una relación alcalinidad a dureza de

Relación Alk : DT

1.09

Agregaremos NaOH para eliminar el CO2, convirtiéndolo en bicarbonatos

Cantidad de NaOH requerido

54.76 mg/l

Dosis en exceso

10%

Dosis total

60.23 mg/l

HCO3 producido

68.45 mg CaCO3/l

Incremento en sodio

75.29 mg CaCO3/l

Como hay NaOH en exceso, parte de los bicarbonatos se convertirán en carbonatos

NaOH en exceso

5.48 mg/l

HCO3 eliminados

6.84 mg CaCO3/l

CO3 formados

13.69 mg CaCO3/l

El balance queda de la siguiente forma:

Componente	Reportado Como	mgCaCO3/l
Calcio	mg/l	219.91
Magnesio	mg/l	76.53
Sodio	mg/l	404.59
Potasio	mg/l	-
Total de cationes	mg/l	701.03
Bicarbonatos	mg/l	310.51
Carbonatos	mg/l	13.99
Cloruros	mg/l	145.00
Sulfatos	mg/l	200.00
Nitratos	mg/l	32.00
Fosfatos	mg/l	-
Total de aniones	mg/l	701.20
Dureza total	CaCO3	296.44
Dureza de calcio	CaCO3	219.91
Dureza de magnesio	CaCO3	76.53
Alcalinidad total	CaCO3	324.20
Silice	SiO2	25.00

CO2	CO2	-
pH	Unidades	8.50

Relación dureza: alcalinidad 0.91

En consecuencia, tomando que el descalcificador operará de la siguiente forma

Número de trenes en servicio	2
Número de trenes en espera	1
Tiempo de corrida	12 horas
Caudal por tren	177.78 m ³ /h
Tasa de recirculación	13.68%
Flujo bruto alimentado	202.10 m ³ /h

Carga iónica:

Volumen consumido por la RO	2,133.33 m ³	
Volumen de recirculación	291.87 m ³	
Volumen consumido en regeneración	188 m ³	187.96
Volumen bruto producido	2,613.20 m ³	

Calcio	219.91 mg CaCO ₃ /l	74.18%	574.68 Kg CaCO ₃ /ciclo	11,493.54 eq/ciclo
Magnesio	76.53 mg CaCO ₃ /l	26.82%	199.99 Kg CaCO ₃ /ciclo	3,999.75 eq/ciclo
Sodio	- mg CaCO ₃ /l	0.00%	- Kg CaCO ₃ /ciclo	- eq/ciclo
Potasio	- mg CaCO ₃ /l	0.00%	- Kg CaCO ₃ /ciclo	- eq/ciclo
Total de cationes	296.44 mg CaCO ₃ /l	100.00%	774.66 Kg CaCO ₃ /ciclo	15,493.29 eq/ciclo

Bicarbonatos	310.51	811.44 Kg CaCO ₃ /ciclo
Carbonatos	13.69	35.77 Kg CaCO ₃ /ciclo
Alcalinidad total	324.20	847.21 Kg CaCO ₃ /ciclo

Relación dureza: alcalinidad 0.91

El requisito de ácido para regeneración, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de la resina, es que se emplee un Exceso de regenerante del 125%

Carga iónica removida	15,493.29 eq/ciclo
Consumo equivalente de ácido	743.68 Kg H ₂ SO ₄
Consumo ajustado a 125% eficiencia	929.60 Kg H ₂ SO ₄

La resina a emplear será una resina catiónica, débilmente ácida IRC-86RF

De acuerdo al manual de datos técnicos del fabricante de la resina, la capacidad de intercambio para la relación dureza: alcalinidad es de:

Capacidad base	1.48 eq/l
Corrección por salinidad	0.94 @ 14.45 meq/l de salinidad total
Corrección por carga iónica	0.83 @ 53.35 meq/l

Capacidad bruta	1.14	eq/l	
Volumen de resina	13,536.20	litros	13,536.00 litros
Factor de seguridad	0.91		
Volumen a instalar	14,874.95	litros	14,875.00 litros
Nivel de regeneración	62.49	g/l	
Fuga de dureza:	-	Debido a que la alcalinidad es superior a la dureza.	
Fuga de alcalinidad	27.59	mg CaCO ₃ /l	equivalente a la alcalinidad de sodio

El análisis del agua suavizada será:

Componente	Reportado Como	mgCaCO ₃ /l
Calcio	mg/l	-
Magnesio	mg/l	-
Sodio	mg/l	404.59
Potasio	mg/l	-
Total de cationes	mg/l	404.69
Bicarbonatos	mg/l	27.50
Carbonatos	mg/l	-
Cloruros	mg/l	145.00
Sulfatos	mg/l	200.00
Nitritos	mg/l	32.00
Fosfatos	mg/l	-

Total de aniones	mg/l	404.68
Dureza total	CaCO ₃	-
Dureza de calcio	CaCO ₃	-
Dureza de magnesio	CaCO ₃	-
Alcalinidad total	CaCO ₃	27.58
Silice	SiO ₂	25.08
CO ₂	CO ₂	285.30
pH	Unidades	5.30

Aproximadamente

a) Inyección de ácido

Nivel de regeneración	62.49 g NaOH/l		
Consumo de H ₂ SO ₄	929.60 Kg/ciclo		
Concentración de inyección	0.70% Primer paso		
Paso de inyección	1		
Concentración	0.7%		
Fracción dosificada	100.0%		
Consumo de ácido concentrado	929.60 Kg		
Volumen de ácido concentrado	517.48 litros		
Volumen de ácido diluido	132.80 m ³		
Volumen de agua de dilución	132.28 m ³		
Caudal de regeneración	de 2 a 8 BV/h		
Caudal seleccionado	6 BV/h		
Flujo de regenerante diluido	88.26 m ³ /h		
Tiempo de contacto	89.28 minutos	Seleccionar	90.00 minutos
Flujo de reactivo concentrado	5.75 Lpm		
Flujo de agua de dilución	88.18 m ³ /h	Consumo	132.28 m ³
Flujo de reactivo diluido	88.63 m ³ /h	Consumo	132.80 m ³

b) Desplazamiento

Tasa de desplazamiento			
IRC-85RF	3 BV	44.63 m ³	44.63 m ³
Flujo de desplazamiento	88.19 m ³ /h		
Tiempo de desplazamiento	30.36 minutos	Considerar	31 minutos
Consumo de agua para desplazamiento	45.56 m ³		

c) Enjuague rápido

Se realizará enjuague por recirculación, 3 minutos a dren y recirculación hasta alcanzar conductividad.

Flujo de enjuague	202.10 m ³ /h
Consumo	10.11 m ³

d) Resumen de consumos de agua

Agua de dilución de ácido	132.28 m ³
Agua para desplazamiento	45.56 m ³
Agua de enjuague	10.11 m ³
	187.95 m ³

Acido total inyectado	18,871.38 eq.
Acido consumido	15,463.26 eq.
Acido remanente	3,478.09 eq.

Sosa requerida para neutralización	3,478.09 eq.
	139.12 Kg

Caudal ponderado de entrada	180.44 m ³ /h
-----------------------------	--------------------------

4 Diseño del sistema de filtración

Flujo de producción por tren	193.44 m ³ /h	386.88	9,265.14 m ³ /día
Número de trenes desmineralizadores	2.00		

Cantidad en operación	1.00		
Consumo de agua de lavado por filtro	66.73 m3	96.73	
Consumo total de la batería	200.19 m3/ciclo		480.456 m3/día
Duración del ciclo de filtración	10.00 horas		
Flujo ponderado de filtración exina	20.02 m3/h		
Flujo total de agua filtrada requerido	213.46 m3/h	9,765.69	m3/día
Flujo mínimo por filtro	106.73 m3/h		
Flujo máximo por filtro	213.46 m3/h		

Operaremos por un sistema de filtración de lecho profundo y alta velocidad de filtración (5, 6)

Por criterios de velocidad (5, 6), tendremos:

Velocidad promedio de operación	18.00 m3/h.m2
Velocidad máxima de operación	28.00 m3/h.m2

A estas condiciones, la superficie total de filtración requerida será de:

A velocidad promedio	11.86 m2
A velocidad máxima	7.62 m2

Corregiremos el diámetro de los filtros a condición de flujo máximo

Area mínima por filtro	7.82 m2		
Diámetro equivalente	3,116.33 mm	10.22	pies
Diámetro seleccionado	3,048.00 mm	10.00	pies
Area de flujo por filtro	7.29 m2		
Flujo mínimo por filtro	106.73 m3/h	Velocidad	14.83 m3/h.m2 6.00 gpm/pie2
Flujo máximo por filtro	213.46 m3/h	Velocidad	29.27 m3/h.m2 12.00 gpm/pie2

a) Secuencias de lavado

Retrolavado

Emplearemos la técnica de lavado con agua

Velocidad de retrolavado	36.6 m3/h.m2
Flujo instantáneo de lavado	266.92 m3/h
Duración	15 minutos
Consumo de agua de lavado	66.73 m3

Enjuague

Velocidad de enjuague	15 m3/h.m2
Flujo de enjuague	109.39 m3/h
Duración	10 minutos
Consumo de agua de enjuague	18.23 m3

Número de lavados por ciclo	3
Consumo para retrolavado	480.46 m3
Consumo para enjuague	131.27 m3
Flujo promedio de alimentación a filtros	213.46 m3/h
Flujo máximo de alimentación a filtros	322.85 m3/h

5 Eficiencia del proceso

Volumen total de agua producida	7,803.20 m3/día	77.14%
Consumo para regeneración Cation	16.54 m3/día	0.17% Ponderado en base a 24 horas
Consumo para regeneración anión	19.35 m3/día	0.20% Ponderado en base a 24 horas
Consumo descalcizadores	751.80 m3/día	7.63% Ponderado en base a 24 horas
Consumo para retrolavado de filtros	480.46 m3/día	4.87% Ponderado en base a 24 horas

Consumo para enjuague de filtros	131.27 m3/día	1.33% Ponderado en base a 24 horas
Rechazo de ósmosis inversa	853.33 m3/día	8.66%
Consumo de agua cruda	9,855.96 m3/día	100.00%
Eficiencia de proceso	97.14%	

ANEXO 2

Lista de Equipo y Costos Estimados

Memoria de Monto de Inversión para Alternativa I

Estimados de costos de Operación para alternativa I

Lista de Equipo y Estimado de Inversión para la Alternativa I

EQUIPO		cantidad		costo base US\$	PARA ALTERNATIVA 1,			costo estimado US\$
					factor de instalación			
					Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	
Equipo de filtración								
Recipiente		4		\$4,400	1.65	1.8	1.8	31,680
Tanque de almacenamiento agua cruda		1		\$22,214	1.3	1.6	1.45	32,210
Unidad Catiónica débil								
Recipiente		4		\$4,500	1.3	1.6	1.6	28,800
Catiónica débil IRC-84RF		27.13	m3	\$1,959			1.1	58,462.5
Unidad catiónica fuerte								
Recipiente		4		\$4,500	1.3	1.6	1.6	28,800
Catiónica fuerte I200H		46.5	m3	\$1,960			1.1	143,061
Torre descalcificadora								
Recipiente		1		\$25,000	1.43	1.76	1.76	44,000
Internos		1		\$19,000			1.1	20,900
Cisterna		1	180 m3	\$31,850			1.2	38,220
Unidad Aniónica débil								
Recipiente		4		\$4,000	1.3	1.6	1.6	25,600
Aniónica débil IRA-		41.7	m3	\$3,393			1.1	165,107
Unidad Aniónica fuerte								
Recipiente		4		\$4,000	1.3	1.6	1.6	25,600
Aniónica fuerte IRA458F		38	m3	\$3,393			1.1	150,148
Tanque descalcificador								
Recipiente								
Catiónica débil IRC-84RF								
Tanque de lavado de resinas		1		\$14,000	1.3	1.6	1.45	20,300
Ósmosis inversa								
Unidades de ósmosis inversa								
Membranas								
Tubos a presión								
Tanque de almacenamiento agua desmineralizada								
		1		\$32,400	1.3	1.6	1.3	42,120
Tanques								
Tanque de agua suavizada								
Tanque preparación de NaClO		1		\$34,000	1.3	1.6	1.3	44,200
Tanque preparación de FeCl ₃		2		\$5,000	1.3	1.6	1.3	13,000
Tanque preparación de Polímero		2		\$13,000	1.3	1.6	1.3	33,800
Tanque preparación de anti-incrustante								
Tanque preparación de bisulfito								
Tanque preparación de NaOH		1		\$31,000	1.3	1.6	1.3	40,300
Tanque preparación de H ₂ SO ₄		1		\$31,000	1.3	1.6	1.3	40,300
Tanque de limpieza								
Agitadores								
Agitadores de preparación de solución de cloruro férrico		2		\$6,500	1.2	1.4	1.3	16,900
Agitadores de preparación de solución de polímero		2		\$8,000	1.2	1.4	1.3	20,800
Agitadores de preparación de solución de solución de limpieza								
Agitadores de preparación de solución de bisulfito de sodio								
Agitadores de preparación de solución de antiincrustante								

Bombas								
Bombas de alimentación de agua cruda	4		\$13,500	1.25	1.6	1.425	76,950	
Bombas de alimentación a								
Bombas de recirculación del								
Bombas de agua purificada								
Bomba de alimentación a ósmosis inversa								
bombas de alta presión de ósmosis inversa								
Bombas de alimentación a	4		\$13,500	1.25	1.6	1.425	76,950	
Bombas de alimentación a la unidad	4		\$13,500	1.25	1.6	1.425	76,950	
Bomba de dosificadoras de Hipoclorito de	2		\$6,824	1.25	1.6	1.425	19,448	
Bombas de dosificadoras de FeCl ₃	2		\$6,160	1.25	1.6	1.425	17,556	
Bomba de dosificadoras de Polímero	2		\$6,160	1.25	1.6	1.425	17,556	
Bomba dosificadora de soda al								
Bomba de agua de dilución de ácido a								
Bombas de dosificadoras de anti-incrustante								
Bomba de dosificadoras de ácido a ósmosis								
Bomba de dosificadoras de soda a ósmosis								
Bombas de dosificadoras de bisulfito								
Bombas de dosificadoras de NaOH	2		\$6,160	1.25	1.6	1.425	17,556	
Bomba de dosificadoras de H ₂ SO ₄	2		\$6,160	1.25	1.6	1.425	17,556	
Bombas de agua de dilución de ácido a	2		\$6,304	1.25	1.6	1.425	17,966	
Bombas de agua de dilución de soda a	2		\$3,320	1.25	1.6	1.425	15,162	
Bombas de recirculación de emulsión	2		\$22,000	1.25	1.6	1.425	62,700	
Bombas de solución de								
Ventiladores del desagües residual	2		\$30,000	1.2	1.4	1.3	78,000	
TOTAL US\$ DE COSTO DE							1,558,660	
MAYOR								

ESTIMADO DE COSTOS DE LOS EQUIPOS DE LA ALTERNATIVA 1

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

Índice estimado en 1977= 505.40

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CRUDA P-101 A-D

Material: Acero al carbón

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 194.57 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 856.11 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (856.11)^{0.46} = 9,402.51 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 9,402.51 \text{ USD} = 12,974.45 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=13,500 USD c/u (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DESMINERALIZACIÓN P-102 A-D

Material: Acero al carbón

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 189.06 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 831.86 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (831.86)^{0.46} = 9,279.11 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 9,279.11 \text{ USD} = 12,804.17 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=13,500 c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN LINDA MINERACIÓN P-103 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

Potencia: 29.84 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-102 A-D, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=13,500 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CRUDA P-104 A-D

Material: Plástico

Cantidad de bombas: 2

$$\text{Flujo: } 43 \text{ lph} = 0.189 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\Delta p = 5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 71 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Con base en la figura B-1 página 545 el costo de la bomba para el año 1988 es de 1,000 USD.

Costo en el año 1987= 1,000 × 2.98 = 2,980 USD

Costo redondeado en el año 2004=6,824 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE CLORURO FÉRRICO P-105 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw=5.02 hp

Costo de bomba según gráfica (Referencia 53)=3,100 USD para el año 1990.

Costo en el año 2004=(3,100 USD) x (1.98)=6,138 USD.

Costo redondeado =6,160 USD c/u.

BOMBAS DOSIFICADORAS DE POLÍMERO P-106 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw=5.02 hp

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-105 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 53)

BOMBAS DE DILUCIÓN DE AGUA A DESMINERALIZACIÓN P-107 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 14.92 kw=19.873 hp

Costo en el año de 1990 =3,183.84 USD c/u.

$3,183.84 \times 1.98 = 6,304$ USD

Costo en el año 2004=6,304 USD (Referencia 53)

BOMBA DE AGUA DE DILUCIÓN DE AGUA A DESMINERALIZACIÓN P-108 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Costo en el año de 1990=2686.87 USD c/u.

$2,686.87 \times 1.98 = 5,320$ USD

Costo en el año 2004=5,320 USD c/u. (Referencia 53)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-109 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw=5.02 hp

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-105 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 53)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE AGUA A DESMINERALIZACIÓN P-110 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw=5.02 hp

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-105 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado =6,160 USD c/u. (Referencia 53)

BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE BLENQUE P-111 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Flujo: $132.00 \frac{m^3}{hr} = 580.80 \frac{gal}{min}$

Costo de la bomba en el año de 1987= $1,087 \times (580.80)^{0.40} = 13,862.46$ USD

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 13,862.46 \text{ USD} = 19,128.70 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=22,000 USD c/u. (Referencia 52)

VENTILADORES V-101 A-B

Material: Acero al carbón

Cantidad de ventiladores: 2

$$\text{THP} = V'' \times \Delta P_p$$

$$V'' = \frac{\text{THP}}{0.262 \times \Delta P_p \times 0.6}$$

$$V'' = \frac{15}{0.262 \times 0.54 \times 0.6} = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$V'' = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 10,602.20 \text{ min}$$

$$\frac{14.694 \text{ psi}}{406.79 \text{ in C.A.}} = 0.036$$

$$0.036 \times 15 \text{ in C.A.} = 0.54 \text{ psi}$$

$$11.19 \text{ kw} \times 1.3410 \frac{\text{hp}}{\text{kw}} = 15 \text{ hp}$$

$$15,000 \times 1.97 = 29,550 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=30,000 USD c/u. (Referencia 52)

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA FILTRADA TK-10

Capacidad: $40 \text{ m}^3 = 10,566.88 \text{ gal}$

Diámetro: 9.99 ft

Longitud: 16.404 ft

Material: Acero al carbón

Cantidad de tanques: 1

Costo estimado de la gráfica (Referencia 54) = 10,000 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del tanque en el año 2004} = \frac{1,122.68}{505.40} \times 10,000 \text{ USD} = 22,213.69 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=22,214 USD c/u.

DISTRIBUIDOR DE FERTILIZADOR TK-102 A

Capacidad: $180 \text{ m}^3 = 4,755.097 \text{ gal}$

Material: Concreto

Cantidad de sistemas: 1

Sistema A (TK-102)

Capacidad: $180 \text{ m}^3 = 47,550.967 \text{ gal}$

Sistema B

Capacidad: 443.66 m^3

Costo: 52,300 USD

$$\text{Costo de la Cisterna A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Cisterna A}}{\text{Capacidad Cisterna B}} \right)^{0.55}$$

$$\text{Costo de la Cisterna A} = 52,300 \text{ USD} \left(\frac{180}{443.66} \right)^{0.55} = 31,843.729 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=31,850 USD c/u. (Referencia 55)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FOSFONITO DE SODIO TK-102

Capacidad: 32 m³ =8,453.50 gal

Diámetro: 9.99 ft

Longitud: 15.41

Material: FRP

Cantidad de tanques: 1

Costo estimado 33,900 USD c/u

Costo redondeado en el año 2004=34,000 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE CLORURO FÉRRICO TK-104 A

Capacidad: 1.50 m³ =396.26 gal

Diámetro: 3.93 ft

Longitud: 5.90 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 2

Costo del tanque en el año 2004=5,000 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE POLÍMERO TK-105 A/B

Capacidad: 5.80 m³ =1,532.20 gal

Diámetro: 6.56 ft

Longitud: 6.88 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 2

Costo del tanque=12,800 USD

Costo redondeado en el año 2004=13,000 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO TK-106

Capacidad: 90 m³ =23,775.48 gal

Diámetro: 16.40 ft

Longitud: 20.34 ft

Material: Acero al carbón

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año de 1977=13,956.74 USD

$$\text{Costo del tanque} = \left(\frac{1,122.68}{505.45} \right) \times 13,956.74 \text{ USD} = 31,000 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=31,000 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE SODA TK-107 A

Capacidad: 100 m³ =26,417.21 gal

Diámetro: 16.40 ft

Longitud: 22.27 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año de 1977=13,956.74 USD

Costo del tanque en el año 2004= $\left(\frac{1,122.68}{505.45} \right) \times 13,956.74 \text{ USD} = 31000 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=31,000 USD c/u. (Referencia 54)

FILTROS A PRESION TV-101 A-B

Capacidad: $176.88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 778.569 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 3,048 mm = 10 ft

Altura: 1,524 mm = 5 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de filtros: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53) = 3,400 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

Costo del equipo A= $\frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$

Costo del Filtro = $\frac{1,122.68}{871.94} \times 3,400 \text{ USD} = 4,377.72 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=4,400 USD c/u.

TORRES DE GASEIFICADORAS TV-102 A

Capacidad: $156.81 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 689.659 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 3,048 mm = 10 ft

Altura: 5,400 mm = 17.717 ft

Material: Acero al carbón ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 54)= 11,000 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

Costo del equipo A= $\frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$

Costo de la Torre = $\frac{1,122.68}{505.40} \times 11,000 \text{ USD} = 24,435.06 \text{ USD}$ (se considera como

tanque no ahulado)

Costo redondeado en el año 2004=25,000 USD c/u.

UNIDADES CATIONICAS TV-103 A-B

Capacidad: $171.87 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 756.859 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 2,743 mm = 8.999 ft

Altura: 4,267 mm = 13.999 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de unidades catiónicas: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,300 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Cationica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,300 \text{ USD} = 4,248.967 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,500 USD c/u.

UNIDADES ANIÓNICAS TV-105 A

Capacidad: $6.61 \text{ m}^3 / \text{h} = 689.659 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 2,438 mm = 7.999 ft

Altura: 4,724 mm = 15.499 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de unidades aniónicas: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,100 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Anionica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,100 \text{ USD} = 3,991.45 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,000 USD c/u.

TANQUES DE LAVADO DE RESINA TV-105 A

Capacidad: $18 \text{ m}^3 = 4,755.097 \text{ gal}$

Diámetro: 2743 mm = 8.999 ft

Altura: 6100 mm = 20.013 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de tanques: 1

Equipo A (TV-105)

Capacidad: $18 \text{ m}^3 = 4,755.097 \text{ gal}$

Diámetro: 2743 mm = 8.999 ft

Equipo B (TK-101)

Capacidad: 40 m^3

Costo: 10,000 USD

$$\text{Costo del equipo A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Equipo A}}{\text{Capacidad Equipo B}} \right)^{0.6}$$

$$\text{Costo del equipo A} = 10,000 \text{ USD} \left(\frac{18}{40} \right)^{0.6} = 6,193.377 \text{ USD}$$

Costo escalado = 6,193.377 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

Costo del Tanque = $\frac{1,122.68}{505.40} \times 6,193.377 \text{ USD} = 13,757.78 \text{ USD}$ (se considero acero al carbon, falta costo del ahulado)
 Costo redondeado en el año 2004=14,000 USD c/u. (Referencia 54 y 55)

AGITADORES DE PREPARACION DE CLORURO FERRICO AG-101 A-B

Potencia: 0.75 kw = 1 hp
 Costo = (4,578) (Potencia hp)^{0.25}
 Costo = (4,578) (1.006)^{0.25}
 Costo = 4,584.586 USD
 Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)
 Índice estimado en 1987= 813.6
 Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.23 \text{ USD} \text{ (Referencia 52)}$$

Costo redondeado en el año 2004=6,500 USD c/u.

AGITADORES DE PREPARACION DE POLIMETRO AG-102 A-B

Potencia: 1.5 kw = 2.012 hp
 Costo = (4578) (Potencia hp)^{0.25}
 Costo = (4578) (2.012)^{0.25}
 Costo = 5,452.022 USD
 Costo estimado por Método 2 = 5,452.022 USD (en el año de 1987)
 Índice estimado en 1987= 813.6
 Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 5,452.022 \text{ USD} = 7,523.20 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=8,000 USD c/u. (Referencia 52)

CLIENTE:

LUGAR:

Q =

FECHA:

ITM.

ANALISIS DE CONSUMO ELECTRICO ALTERNATIVA 1

FECHA ITEM	EQUIPO	CANT.	MOTORES			CONSUMO		TOTAL
			POT. (KW)	OP'N	ESPERA	OP'N	ESPERA	
P-101 A-D	Bombas de alimentación de agua cruda	4	29.84	3.00	1.00	89.52	29.84	119.36
P-102 A-D	Bombas de alimentación desmineralización	4	29.84	3.00	1.00	89.52	29.84	119.36
P-103 A-D	Bombas de alimentación unidad aniónica	4	22.38	3.00	1.00	67.14	22.38	89.52
P-104 A/B	Bombas dosificadoras de sulfato de aluminio	2	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.49
P-106 A/B	Bombas dosificadoras de polímero	2	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.49
P-107 A/B	Bombas de agua de dilución de ácido a desmi	2	14.92	1.00	1.00	14.92	14.92	29.84
P-108 A/B	Bombas de agua de dilución de sosa a desmineralización	2	5.60	1.00	1.00	5.60	5.60	11.19
P-109 A/B	Bombas dosificadoras de ácido a desmineralización	2	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.49
P-110 A/B	Bombas dosificadoras de sosa a desmineralización	2	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.49
P-111 A/B	Bombas de recirculación de enjuague	2	14.92	1.00	1.00	14.92	14.92	29.84
V-101 A/B	Ventiladores del decarbonizador	2	11.19	1.00	1.00	11.19	11.19	22.38
AG-101 A/B	Agitador de preparación de sulfato de aluminio	2	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.49
AG-102 A/B	Agitador de preparación de polímero	2	1.50	1.00	1.00	1.50	1.50	3.00
TOTAL ES						296.04	133.92	431.96

FLUJO PLANTA : 316.8 m³/h
 KW / h : 298.04 KW/h
 KW / m³ : 0.94 KW / m³
 COSTO DEL KW / h : (CFE) \$1.32 KW/h
 PRECIO DEL KW / m³ : \$1.24 m³
 \$382.30 hora
 \$9,415.18 día

Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
\$82.3400	\$1.5632	\$0.4947	\$0.4118

TARIFA DE CFE PARA LA REGION NORESTE

Mínimo mensual: Es el importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable del 10% de la demanda contratada.

Demanda contratada: La demanda contratada la fija inicialmente el usuario; y su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, solo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario: Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo de la fracción IX, así como los establecidos por Actividad Presidencial.

Demanda Facturable: La demanda facturable se define como se establece a continuación.

DF = DP + FRI x max (DI - DP, 0) + FRB x max (DB - DPI, 0)

DF = \$1.00 cuando max(DI - DP) ES MAYOR DE CERO

Donde:

DF = \$1.32 cuando max(DI - DP) ES IGUAL A CERO

DP es la demanda máxima medida en el periodo de la punta.

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio.

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base.

DPI es la demanda máxima medida en el periodo de punta e intermedio.

REGION	FRI	FRB
BAJA CALIFORNIA	0.141	0.07
BAJA CALIFORNIA SUR	0.196	0.097
CENTRAL	0.300	0.150
NORESTE	0.300	0.150
NOROESTE	0.162	0.061
NORTE	0.300	0.150
PENINSULAR	0.300	0.150
SUR	0.300	0.150

En las formulas las demandas facturables, el simbolo "max" significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre parentesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.

ANEXO 3

Lista de Equipo y Costos Estimados

Memoria de Monto de Inversión para Alternativa II

Estimados de costos de Operación para alternativa II

Lista de Equipo y Estimado de Inversión para la Alternativa II

EQUIPO		PARA ALTERNATIVA II, US\$						
		cantidad		costo base US\$	Factor de instalación			costo evaluado US\$
					Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	
Equipos de filtración								
	Recipiente	4		\$5,000	1.65	1.8	1.8	\$36,000
	Tanque de almacenamiento agua cruda	1		\$22,500	1.3	1.6	1.45	\$32,625
Unidad Catiónica débil								
	Recipiente							
	Catiónica débil IRC-84R							
Unidad catiónica fuerte								
	Recipiente	4		\$4,000	1.3	1.6	1.6	\$25,600
	Catiónica fuerte J200H	27.8	m3	\$1,960			1.1	\$59,937
Torre descalcificadora								
	Recipiente			\$24,500	1.42	1.76	1.76	\$43,120
	Interno	1		\$19,000			1.1	20,900
	Cilindro		42 m3	\$15,000			1.6	24,000
Unidad Aniónica débil								
	Recipiente	4		\$4,000	1.3	1.6	1.6	\$25,600
	Aniónica débil IRA-67R	16.6	m3	\$3,593			1.1	\$65,608
Unidad Aniónica fuerte								
	Recipiente	4		\$4,000	1.3	1.6	1.6	\$25,600
	Aniónica fuerte IRA438	23.8	m3	\$3,593			1.1	\$90,112.5
Tanque descalcificador								
	Recipiente							
	Catiónica débil IRC-84RF descalcificador							
Tanque de lavado de resinas								
		1		\$8,000	1.3	1.6	1.6	\$12,800
Osmosis inversa								
	Unidades de membrana inversa	4						
	Membranas	1080		\$850			1.1	\$1,009,800
	Tubo a presión	180		\$2,100			1.1	\$415,800
Tanque de almacenamiento agua desmineralizada								
		1		\$32,400	1.3	1.6	1.36	\$44,064
Tanques								
	Tanque de agua suavizada							
	Tanque reconstrucción de NaClO	1		\$29,500	1.3	1.6	1.3	\$39,822
	Tanque reconstrucción de FeCl3	2		\$6,000	1.3	1.6	1.3	\$16,192
	Tanque reconstrucción de Polímero	2		\$12,400	1.3	1.6	1.3	\$33,477
	Tanque reconstrucción de anti-incrustante	1		\$19,400	1.3	1.6	1.3	\$26,188
	Tanque reconstrucción de bisulfito	1		\$16,300	1.3	1.6	1.3	\$22,003
	Tanque reconstrucción de NaOH	1		\$13,500	1.3	1.6	1.3	\$18,225
	Tanque reconstrucción de H2SO4	1		\$7,500	1.3	1.6	1.3	\$10,074
	Tanque de limpieza	1		\$17,500	1.3	1.6	1.3	\$23,623
Agitadores								
	Agitadores de preparación de solución de cloruro férrico	2		\$6,500	1.2	1.4	1.3	\$17,548
	Agitadores de preparación de solución de polímero	2		\$7,500	1.2	1.4	1.3	\$20,248
	Agitadores de preparación de solución de solución de limpieza	1		\$7,500	1.2	1.4	1.3	\$10,074
	Agitadores de preparación de solución de bisulfito de sodio	1		\$6,500	1.2	1.4	1.3	\$8,774.5
	Agitadores de preparación de solución de antiincrustante	1		\$6,500	1.2	1.4	1.3	\$8,774.5

Bombas								
Bombas de alimentación de agua cruda				\$14,000	1.25	1.6	1.5	\$82,208
Bombas de alimentación a								
Bombas de recirculación del								
Bombas de agua suavizada								
Bomba de alimentación a ósmosis inversa	4			\$14,000	1.25	1.6	1.5	\$82,208
bombas de alta presión de ósmosis inversa	4			\$25,000	1.25	1.6	1.5	\$146,800
Bombas de alimentación a	4			\$21,000	1.25	1.6	1.5	\$123,312
Bombas de alimentación a la unidad	4			\$21,000	1.25	1.6	1.5	\$123,312
Bomba de dosificadoras de hipoclorito de sodio	2			\$2,000	1.25	1.6	1.5	\$5,872
Bombas de dosificadoras de FeCl ₃	2			\$3,600	1.25	1.6	1.5	\$10,560
Bomba de dosificadoras de Polímero	2			\$6,160	1.25	1.6	1.5	\$18,086
Bomba dosificadora de sosa al								
Bomba de agua de dilución de ácido al								
Bombas de dosificadoras de anti-incrustante	2			\$6,160	1.25	1.6	1.5	\$18,086
Bomba de dosificadoras de ácido a ósmosis	2			\$6,160	1.25	1.6	1.5	\$18,086
Bomba de dosificadoras de sosa a ósmosis								
Bombas de dosificadoras de bisulfito	2			\$2,700	1.25	1.6	1.5	\$7,927
Bombas de dosificadoras de NaOH a	2			\$6,160	1.25	1.6	1.5	\$18,086
Bomba de dosificadoras de H ₂ SO ₄ a	2			\$6,160	1.25	1.6	1.5	\$18,086
Bombas de agua de dilución de ácido a	2			\$5,400	1.25	1.6	1.5	\$15,854
Bombas de agua de dilución de sosa a	2			\$5,320	1.25	1.6	1.5	\$15,619
Bombas de recirculación de enjuague	2			\$22,000	1.25	1.6	1.5	\$64,592
Bombas de solución de limpieza	2			\$22,000	1.25	1.6	1.5	\$64,592
Ventiladores del descarbonatador	2			\$30,000	1.25	1.6	1.5	\$89,918
TOTAL US\$ DE COSTO DE EQUIPO								3,109,911

ESTIMADOS DE COSTOS DE LOS EQUIPOS DE LA ALTERNATIVA II

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CRUDA P-201 A-D

Material: Acero al carbón

$$\text{Flujo: } 231.29 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 1,018.45 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (1,018.45)^{0.46} = 10,184.37 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 10,184.37 \text{ USD} = 14,053.33 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=14,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN A OSMOSIS INVERSA P-202 A-D

Material: Acero al carbón

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 220.28 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 970 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (970)^{0.46} = 9,958.57 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 9,958.57 \text{ USD} = 13,741.75 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=14,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALTA PRESIÓN DE OSMOSIS INVERSA P-203 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 220.28 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 970 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 1,087 \times (970)^{0.40} = 17,019.16 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 17,019.16 \text{ USD} = 23,484.60 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=25,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN A DESMINERALIZACIÓN P-204 A-E

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 165.21 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 727.47 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 1,087 \times (727.47)^{0.40} = 15,169 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 15,169 \text{ USD} = 20,931.58 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=21,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN UNIDAD ANIÓNICA P-205 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 164.84 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 725.84 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Costo de la bomba en el año de 1987= $1,087 \times (725.84)^{0.40} = 15,156 \text{ USD}$

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 15,156 \text{ USD} = 20,913.64 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=21,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE HIPOCLORITO DE SODIO P-20 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 1.49 kw=

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-104 A-B la cual tiene un costo de 6,824 USD.

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1.49}{11.19} \right)^{0.8} \times 6,824 \text{ USD} = 2,035 \text{ USD}$

Costo redondeado =2,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE HIPOCLORITO P-20 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 1.49 kw=

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-105 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1.49}{3.73} \right)^{0.6} \times 6,160 \text{ USD} = 3,552 \text{ USD}$

Costo redondeado=3,600 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE POLIURETANO P-206 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-106 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO A OSMOSIS INVERSA P-209 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-209 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado =6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE SODIO P-207 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 1.12 kw=

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-207 A-B la cual tiene un costo de 3552 USD.

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1.12}{1.49} \right)^{0.6} \times 3,552 \text{ USD} = 2669.99 \text{ USD}$

Costo redondeado =2,700 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ANTIINCORUSTANTE P-211 A-B

Cantidad de bombas:2

Potencia:1.12 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-210 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=2,700 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE AGUA DE DILUCIÓN DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-212 A-B

Potencia:5.60 kw

Cantidad de bombas:2

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-108 A-D, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=5,400 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE AGUA DE DILUCIÓN DE SODIO A DESMINERALIZACIÓN P-213 A-B

Cantidad de bombas: 2

Potencia:3.73 kw

Esta bomba tiene potencia y servicio similar que la bomba P-212 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=5,400 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-214 A-B

Cantidad de bombas:2

Potencia:3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-208 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE SODA A DESMINERALIZACIÓN P-215 A-B

Cantidad de bombas:2

Potencia:3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-214 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado =6,160 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE ENLASE P-216 A-D

Cantidad de bombas:2

Potencia:14.92 kw

Esta bomba tiene potencia y servicio similar que la bomba P-111 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=22,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE SOLUCIÓN DE LIMPIEZA P-217 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

$$\text{Flujo: } 180 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 792.60 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Costo de la bomba en el año de 1987= $1,087 \times (792.60)^{0.40} = 15,698.25 \text{ USD}$

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 15,698.25 \text{ USD} = 21,661.89 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=22,000 USD c/u. (Referencia 52)

VENTILADORES V-261 A-B

Material: Acero al carbón

Cantidad de ventiladores: 2

$$THP = V^u \times \Delta P_p$$

$$V^u = \frac{THP}{0.262 \times \Delta P_p \times 0.6}$$

$$V^u = \frac{15}{0.262 \times 0.54 \times 0.6} = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$V^u = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 10,602.20 \text{ min}$$

$$\frac{14.694 \text{ psi}}{406.79 \text{ inC.A.}} = 0.036$$

$$0.036 \times 15 \text{ inC.A.} = 0.54 \text{ psi}$$

$$11.19 \text{ kw} \times 1.3410 \frac{\text{hp}}{\text{kw}} = 15 \text{ hp}$$

$$15,000 \times 1.97 = 29,550 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=30,000 USD c/u. (Referencia 152)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA FILTRADA TK-201 A

Capacidad: $40 \text{ m}^3 = 10,556.88 \text{ gal}$

Diámetro: 9.99 ft

Longitud: 16.40 ft

Material: Acero al carbón

Cantidad de tanques: 1

Atmosférico

Costo del tanque en el año de 1977=10,000 USD

$$\text{Costo del tanque} = \left(\frac{1,122.68}{505.45} \right) \times 10,000 \text{ USD} = 22,211.49 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=22,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA OSMÓTICA TK-202 A

Capacidad: $29.52 \text{ m}^3 = 7,798.36 \text{ gal}$

Diámetro: 9.99 ft

Longitud: 15.41 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 2

Costo del tanque=32,400 USD c/u. (Referencia 56)

CISTERNA DEL DEPRESICADOR TK-203 A

Capacidad: $41.09 \text{ m}^3 = 10,854.829 \text{ gal}$

Material: Concreto

Cantidad de tanques: 1

Cistema A (TK-203)

Capacidad: $41.09 \text{ m}^3 = 10,854.829 \text{ gal}$

Cistema B

Capacidad: 443.66 m^3

Costo: 52,300 USD

$$\text{Costo de la Cisterna A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Cisterna A}}{\text{Capacidad Cisterna B}} \right)^{0.55}$$

$$\text{Costo de la Cisterna A} = 52,300 \text{ USD} \left(\frac{41.09}{443.66} \right)^{0.55} = 14,131.196 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 14,131.20 USD c/u. (Referencia 55)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO TK-201 A

Capacidad: $25 \text{ m}^3 = 6,604.30 \text{ gal}$

Diámetro: 9.99 ft

Longitud: 13.78 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque = 29,500 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE CLORURO FÉRRICO TK-205 A B

Capacidad: $2 \text{ m}^3 = 528.34 \text{ gal}$

Diámetro: 4.26 ft

Longitud: 6.56 ft

Material: FRP

Atmosférico

Costo del tanque = 5,900 USD

Costo redondeado en el año 2004 = 6,000 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE POLIMEROS TK-206 A B

Capacidad: $5.50 \text{ m}^3 = 1,452.94 \text{ gal}$

Diámetro: 6.56 ft

Longitud: 7.87 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 2

Costo del tanque = 12,400 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO TK-207 A

Capacidad: $5.85 \text{ m}^3 = 1,545.40 \text{ gal}$

Diámetro: 6.56 ft

Longitud: 8.53 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año de 1977 = 3,155.42 USD

$$\text{Costo del tanque} = \left(\frac{1,122.68}{505.45} \right) \times 3,155.42 \text{ USD} = 7,008.66 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 7,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE SODA TK-208 A

Capacidad: $17 \text{ m}^3 = 4,490.925 \text{ gal}$

Diámetro: 8.99 ft

Longitud: 11.480 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año de 1977=5,984.87 USD

$$\text{Costo del tanque} = \left(\frac{1,122.68}{505.45} \right) \times 5,984.87 \text{ USD} = 13,293.29 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=13,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE COLECCIÓN DE LAPIXIA K-207

Capacidad: 10 m³ =2,641.720 gal

Diámetro: 7.49 ft

Longitud: 10.170 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 2004 =17,500 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE BIORREACTOR BODIO K-210

Capacidad: 9 m³ =2,377.54 gal

Diámetro: 7.49 ft

Longitud: 9.18 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 2004 =16,300 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE PREPARACIÓN DE ANTI-BORRANTE K-211

Capacidad: 12 m³ =3,170 gal

Diámetro: 8.99 ft

Longitud: 8.53 ft

Material: FRP

Atmosférico

Numero de unidades: 1

Costo del tanque en el año 2004 =19,400 USD c/u. (Referencia 56)

FILTROS A PRESIÓN K-208-B

$$\text{Capacidad: } 210.26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 925.916 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 3048 mm = 10 ft

Altura: 1524 mm = 5 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de filtros: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53) = 3700 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Filtro} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,700 \text{ USD} = 4,763.99 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=5,000 USD c/u.

TORRES DESGASIFICADORAS TV-202 A

$$\text{Capacidad: } 299.7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,319.780 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 3048 mm = 10 ft

Altura: 5400 mm = 17.717 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de torres desgasificadoras: 1

Costo estimado de la gráfica (Referencia 54)= 11,000 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,116.62

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de la Torre} = \frac{1,122.68}{505.40} \times 11,000 \text{ USD} = 24,435.06 \text{ USD} \quad (\text{Solo se calculo el costo}$$

del tanque en acero al carbón, hace falta el costo del ahulado)

Costo redondeado en el año 2004=24,500 USD c/u.

UNIDADES CATIONICAS TV-205 A-B

$$\text{Capacidad: } 150.19 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 661.387 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 2,286 mm = 7.500 ft

Altura: 2,134 mm = 7.01 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de unidades catiónicas: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,000 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Cationica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,000 \text{ USD} = 3,862.70 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,000 USD c/u.

UNIDADES ANIONICAS TV-204 A-B

$$\text{Capacidad: } 149.85 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 659.890 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 2,286 mm = 7.500 ft

Altura: 3,200 mm = 10.499 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de unidades aniónicas: 4

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,000 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Anionica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,000 \text{ USD} = 3,862.70 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,000 USD c/u.

TANQUE DE LAVADO DE RESINA TV-205

Capacidad: $6.95 \text{ m}^3 = 1,835.996 \text{ gal}$

Diámetro: $2,286 \text{ mm} = 7.500 \text{ ft}$

Altura: $3,400 \text{ mm} = 11.155 \text{ ft}$

Material: Acero al Carbón Ahulado

Cantidad de tanques de lavado de resina: 1

Equipo A (TV-205)

Capacidad: $6.95 \text{ m}^3 = 1,835.996 \text{ gal}$

Diámetro: $2,743 \text{ mm} = 8.999 \text{ ft}$

Equipo B (TK-101)

Capacidad: 40 m^3

Costo: 10,000 USD

$$\text{Costo del equipo A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Equipo A}}{\text{Capacidad Equipo B}} \right)^{0.6}$$

$$\text{Costo del equipo A} = 10,000 \text{ USD} \left(\frac{6.95}{40} \right)^{0.6} = 3,496.088 \text{ USD}$$

Costo escalado = 3,496.088 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del tanque} = \frac{1,122.68}{505.40} \times 3,496.088 \text{ USD} = 7766.10 \text{ USD} \text{ (Solo se calculo el costo$$

del tanque en acero al carbón, hace falta el costo del ahulado)

Costo redondeado en el año 2004=8,000 USD (Referencia 54 y 55)

COSTO DE PREPARACIÓN DE PLASTICO POR FUSIÓN AG-201A

Cantidad de agitadores: 2

Potencia: $0.75 \text{ kw} = 1.006 \text{ hp}$

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (1.006)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 4,584.586 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.232 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=6,500 USD (Referencia 52)

COSTO DE PREPARACIÓN DE POLIMERO AG-202A

Cantidad de agitadores: 2

Potencia: $1.5 \text{ kw} = 2.012 \text{ hp}$

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (2.012)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 5,452.022 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 5,452.022 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,116.62

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 5,452.022 \text{ USD} = 7,523.90 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=7,500 USD (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE LIMPIEZA AG-204 A

Potencia: 1.5 kw = 2.012 hp

Cantidad de agitadores: 1

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (2.012)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 5,452.022 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 5,452.022 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 5,452.022 \text{ USD} = 7,523.20 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=7,500 USD (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE BISULFITO DE SODIO AG-204 A

Cantidad de agitadores: 1

Potencia: 0.75 kw = 1.006 hp

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (1.006)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 4,584.586 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,116.62

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.23 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=6,500 USD (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE SINTONISANTE AG-204 A

Cantidad de agitadores: 1

Potencia: 0.75 kw = 1.006 hp

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (1.006)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 4,584.586 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,116.62

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.23 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=6,500 USD c/u. (Referencia 52)

CUENTE:
LUGAR:
Q =
FECHA:
ITM.

ANALISIS DE CONSUMO ELECTRICO ALTERNATIVA 2

ITEM.	EQUIPO	CANT.	MOTORES				CONSUMO		TOTAL
			POT. (KW)	OP'N	ESPERA	OP'N	ESPERA		
P-201 A-D	Bombas de alimentación de agua cruda	4	37.30	3	1	111.90	37.30	149.20	
P-202 A-D	Bombas de alimentación a osmosis inversa	4	29.84	3	1	89.52	29.84	119.36	
P-203 A-D	Bombas de alta presión de osmosis inversa	4	111.90	3	1	335.70	111.90	447.60	
P-204 A-D	Bombas de alimentación desmineralización	4	22.38	3	1	67.14	22.38	89.52	
P-205 A-D	Bombas de alimentación unidad aniónica	4	22.38	3	1	67.14	22.38	89.52	
P-207 A/B	Bombas dosificadoras de sulfato de aluminio	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-208 A/B	Bombas dosificadoras de polímero	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-209 A/B	Bombas dosificadoras de ácido a osmosis	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-210 A/B	Bombas dosificadoras de bisulfito de sodio	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-211 A/B	Bombas dosificadoras de anti incrustante	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-212 A/B	Bombas de agua de dilución de ácido a desmi	2	3.73	1	1	3.73	3.73	7.46	
P-213 A/B	Bombas de agua de dilución de sosa a desmineralización	2	3.73	1	1	3.73	3.73	7.46	
P-214 A/B	Bombas dosificadoras de ácido a desmineralización	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-215 A/B	Bombas dosificadoras de sosa a desmineralización	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.49	
P-216 A/B	Bombas de recirculación de enjuague	2	14.92	1	1	14.92	14.92	29.84	
P-217 A/B	Bombas de solución de limpieza	2	22.38	1	1	22.38	22.38	44.76	
V-201 A/B	Ventiladores del descarbonizador	2	11.19	1	1	11.19	11.19	22.38	
AG-201 A/B	Agitador de preparación de sulfato de aluminio	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.50	
AG-202 A/B	Agitador de preparación de polímero	2	1.50	1	1	1.50	1.50	3.00	
AG-203	Agitador de preparación de solución de limpieza	1	1.50	1	0	1.50	0.00	1.50	
AG-204	Agitador de preparación de bisulfito de sodio	1	0.75	1	0	0.75	0.00	0.75	
AG-205	Agitador de preparación de anti incrustante	1	0.75	1	0	0.75	0.00	0.75	
TOTALES						737.82	297.22	1,025.04	

FLUJO PLANTA : 316.8 m³/h
kW / h : 737.82 kW/h
kW / m³ : 2.33 kW / m³
COSTO DEL kW / h : (CFE) \$1.32 kW.h
PRECIO DEL kW / m³ : \$3.07 m³
\$371.18 hora
\$23,308.42 día

Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedi a	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
\$82.3400	\$1.5632	\$0.4847	\$0.4118

TARIFA DE CFE PARA LA REGION NORESTE

Mínimo mensual: Es el importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable del 10% de la demanda contratada.

Demanda contratada: La demanda contratada la fija inicialmente el usuario; y su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, solo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario: Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo de la fracción IX, así como los establecidos por Actividad Presidencial.

Demanda Facturable: La demanda facturable se define como se establece a continuación.

DF = DP + FRI x max (DI - DP, 0) + FRB x max (DB - DP, 0)

DF = \$1.00 cuando max(DI - DP) ES MAYOR DE CERO

Donde:

DF = \$1.32 cuando max(DI - DP) ES IGUAL A CERO

DP es la demanda máxima medida en el periodo de la punta.

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio.

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base.

DP1 es la demanda máxima medida en el periodo de punta e intermedio.

REGION	FRI	FRB
BAJA CALIFORNIA	0.141	0.07
BAJA CALIFORNIA SUR	0.196	0.097
CENTRAL	0.300	0.150
NORESTE	0.300	0.150
NOROESTE	0.162	0.081
NORTE	0.300	0.150
PENINSULAR	0.300	0.150
SUR	0.300	0.150

En las formulas las demandas facturables, el simbolo "max" significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre parentesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.

ANEXO 4

Lista de Equipo y Costos Estimados
Memoria de Monto de Inversión para Alternativa III
Estimados de costos de Operación para alternativa III

Lista de Equipo y Estimado de Inversión para la Alternativa III

EQUIPO		PARA ALTERNATIVA III					
		cantidad	costo base US\$	Factor de instalación			costo estimado US
				Límite inferior	Límite superior	Factor empleado	
Unidad de filtración							
	Recipiente	4	4,500	1.65	1.8	1.8	\$32,400
Tanque de almacenamiento agua cruda		1	27,000	1.3	1.6	1.6	\$43,200
Unidad Catiónica débil							
	Recipiente	4	4,000	1.3	1.6	1.6	\$25,600
	Catiónica débil IRC-44RF	27.13 m3	1,959			1.1	\$58,462
Unidad catiónica fuerte							
	Recipiente	4	4,000	1.3	1.6	1.6	\$25,600
	Catiónica fuerte 1203B	66.35 m3	1,960			1.1	\$143,061
Torre de desmineralizadora							
	Recipiente	1	25,000	1.43	1.76	1.76	\$44,000
	Internos	1	\$19,000			1.1	20,900
	Cisterna	1	\$31,850			1.2	38,220
Unidad Aniónica débil							
	Recipiente						
	Aniónica débil IRA-678F						
Unidad Aniónica fuerte							
	Recipiente	4	4,500	1.3	1.6	1.6	\$28,800
	Aniónica fuerte IRA458F	38 m3	3,593			1.1	\$150,148
Tanques de descalcificador							
	Recipiente	4	4,300	1.3	1.6	1.6	\$27,520
	Catiónica débil IRC-44RF	55.5 m3	750			1.1	\$45,816
Tanque de lavado de resinas		1	14,000	1.3	1.6	1.6	\$22,400
Osmosis Inversa							
	Unidades de ósmosis inversa	4					
	Membranas	1008	850			1.1	\$942,480
	Tubos a presión	168	2,100			1.1	\$388,080
Tanque de almacenamiento agua desmineralizada		1	29,400	1.3	1.6	1.3	\$38,220
Tanques							
	Tanque de agua suavizada	1	25,876	1.3	1.6	1.3	\$33,639
	Tanque preparación de NaClO	1	27,500	1.3	1.6	1.3	\$35,750
	Tanque preparación de FeCl ₃	1	7,000	1.3	1.6	1.3	\$9,100
	Tanque preparación de Polímero	2	12,500	1.3	1.6	1.3	\$32,500
	Tanque preparación de anti-incrustante	1	10,000	1.3	1.6	1.3	\$13,000
	Tanque preparación de	1	8,000	1.3	1.6	1.3	\$10,400
	Tanque preparación de NaClO ₂	1	11,500	1.3	1.6	1.3	\$14,950
	Tanque preparación de NaClO	1	25,500	1.3	1.6	1.3	\$33,150
	Tanque de limpieza	1	17,500	1.3	1.6	1.3	\$22,750
Agitadores							
	Agitadores de preparación de solución de cloruro	1	6,500	1.2	1.4	1.3	\$8,450
	Agitadores de preparación de solución de	1	7,500	1.2	1.4	1.3	\$19,500
	Agitadores de preparación de solución de solución de limpieza	1	7,500	1.2	1.4	1.3	\$9,750
	Agitadores de preparación de solución de bisulfato de	1	6,500	1.2	1.4	1.3	\$8,450
	Agitadores de preparación de solución de	1	6,500	1.2	1.4	1.3	\$8,450

ESTIMADO DE COSTOS DE LOS EQUIPOS DE LA ALTERNATIVA III

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CRUDA P-301 A-D

Material: Acero al carbón

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 210 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 924.70 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (924.70)^{0.46} = 9,742 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 9,742 \text{ USD} = 13,442.91 \text{ USD}$$

$$\text{Costo redondeado en el año 2004} = 13,500 \text{ USD c/u. (Referencia 52)}$$

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CALIFICADA P-302 A-D

Material: Acero al carbón

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 184 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 810.22 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 421 \times (810.22)^{0.46} = 9,167.25 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 9,167.25 \text{ USD} = 12,649.81 \text{ USD}$$

$$\text{Costo redondeado en el año 2004} = 13,500 \text{ USD (Referencia 52)}$$

BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CALIFICADA P-303 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 32 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 140.90 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 1,087 \times (140.90)^{0.40} = 7,866.88 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 7,866.88 \text{ USD} = 10,855.44 \text{ USD}$$

$$\text{Costo redondeado en el año 2004} = 11,000 \text{ USD (Referencia 52)}$$

BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE AGUA SUAVIZADA P-304 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

$$\text{Flujo: } 184 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 810.22 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año de 1987} = 1,087 \times (810.22)^{0.40} = 15,837 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 15,837 \text{ USD} = 21,853.35 \text{ USD}$$

$$\text{Costo redondeado en el año 2004} = 22,000 \text{ USD c/u. (Referencia 52)}$$

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA CALIFICADA P-305 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

Potencia: 111.90 kw

Esta bomba tiene potencia y servicio similar que la bomba P-203 A-D, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=25,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE ALIMENTACIÓN A DESMINERALIZACIÓN P-204 A-D

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 4

Esta bomba tiene potencia y servicio similar que la bomba P-204 A-D, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=21,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE HICLOLORATO DE SODIO P-307 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia:11.19 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-104 A-D, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo de la bomba =8,824 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE CLORURO FERROSO P-366 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia:14.92 kw

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-105 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{14.92}{3.73} \right)^{0.60} \times 6,160 \text{ USD} = 14,152 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=14,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE POLÍMETRO P-389 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia:1.49 kw

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-105 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1.49}{3.73} \right)^{0.60} \times 6,160 \text{ USD} = 3,552 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=3,550 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE SODA A DEALCALIZADOR P-310 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Potencia:1.12 kw

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-105 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1.12}{3.73} \right)^{0.60} \times 6,160 \text{ USD} = 2,993 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=3,000 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE AGUA DE DILUCIÓN DE ÁCIDO A DEALCALIZADOR P-211 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-107 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = 6,304 \times \left(\frac{11.19}{14.92} \right)^{0.6} = 5,304 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=5,500 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO AL DESALZADOR P-312 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-214 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE SODA A DESMOSIS INVERSA P-313 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-214 A-B, por lo tanto se asigna el mismo costo.

Costo redondeado=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE BISULFITO DE SODIO P-314 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 1.49 kw

El costo de esta bomba se escaló con relación a la bomba P-105 A-B la cual tiene un costo de 6,160 USD.

$$\text{Costo de la bomba en el año 2004} = \left(\frac{1.49}{3.73} \right)^{0.60} \times 6,160 \text{ USD} = 3,552 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=3,600 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ANTIHIERROSTANTE P-315 A-B

Material: Acero inoxidable con teflón

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 1.49 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-314 A-B por lo tanto se le asigna el mismo costo de 3,600 USD.

Costo redondeado en el año 2004=3,600 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE AGUA DE DILUCIÓN DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-316 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 5.60 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-212 A-B por lo tanto se le asigna el mismo costo de 5,400 USD.

Costo redondeado en el año 2004=5,320 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE AGUA DE DILUCIÓN DE SODA A DESMINERALIZACIÓN P-317 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia: 5.60 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-316 A-B por lo tanto se le asigna el mismo costo de 5,320 USD.

Costo redondeado en el año 2004=5,320 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-315 A-B

Material: Acero inoxidable con teflon

Cantidad de bombas:2

Potencia:3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-109 A-B por lo tanto se le asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DOSIFICADORAS DE ÁCIDO A DESMINERALIZACIÓN P-318 A-B

Material: Acero inoxidable con teflon

Cantidad de bombas:2

Potencia:3.73 kw

Esta bomba tiene la misma potencia y servicio similar que la bomba P-318 A-B por lo tanto se le asigna el mismo costo.

Costo redondeado en el año 2004=6,160 USD c/u. (Referencia 55)

BOMBAS DE RECIRCULACIÓN DE ENJUAGUE P-320 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia:22.38 kw

$$\text{Flujo: } 130 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 572.43 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Costo de la bomba en el año de 1987= $1,087 \times (572.43)^{0.40} = 13,782 \text{ USD}$

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 13,782 \text{ USD} = 19,017.67 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=22,000 USD c/u. (Referencia 52)

BOMBAS DE SOLUCIÓN DE LIMPIEZA P-321 A-B

Material: Acero inoxidable

Cantidad de bombas: 2

Potencia:18.65 kw

$$\text{Flujo: } 144 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} = 634 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Costo de la bomba en el año de 1987= $1,087 \times (634)^{0.40} = 14,357.80 \text{ USD}$

Costo de la bomba en el año 2004= $\left(\frac{1,122.68}{813.6} \right) \times 14,357.80 \text{ USD} = 19,812.21 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=21,000 USD c/u. (Referencia 52)

VENTILADORES V-301 A-B

Material: Acero al carbón

Cantidad de ventiladores: 2

$$\text{THP} = V^u \times \Delta P_p$$

$$V^u = \frac{\text{THP}}{0.262 \times \Delta P_p \times 0.6}$$

$$V^u = \frac{15}{0.262 \times 0.54 \times 0.6} = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$V'' = 176.70 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 10,602.20 \text{ min}$$

$$\frac{14.694 \text{ psi}}{406.79 \text{ inC.A.}} = 0.036$$

$$0.036 \times 15 \text{ inC.A.} = 0.54 \text{ psi}$$

$$11.19 \text{ kw} \times 1.3410 \frac{\text{hp}}{\text{kw}} = 15 \text{ hp}$$

$$15,000 \times 1.97 = 29,550 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=30,000 USD c/u. (Referencia 52)

Capacidad: $56 \text{ m}^3 = 14,793.6 \text{ gal}$

Diámetro: 14.76 ft

Longitud: 13.45 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

$$\text{Costo del equipo A} = \text{Costo equipo B} \left(\frac{\text{Capacidad equipo A}}{\text{Capacidad equipo B}} \right)^{0.6}$$

Equipo A=TK-301 Capacidad 56 m^3

Equipo B=TK-101. Capacidad 40 m^3

Costo del TK-101=10,000 USD

Costo del equipo A=12,237.052 USD en 1977

$$\text{Costo en el año 2004} = \left(\frac{1,122.68}{505.40} \right) \times 12,237.052 \text{ USD} = 27,183.01 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004= 27,000 c/u. (Referencia 54)

Capacidad: $123.47 \text{ m}^3 = 32,617.321 \text{ gal}$

Material: Concreto

Cisterna A (TK-102)

Capacidad: $123.47 \text{ m}^3 = 32,617.321 \text{ gal}$

Cisterna B

Capacidad: 443.66 m^3

Costo: 52,300 USD

$$\text{Costo de la Cisterna A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Cisterna A}}{\text{Capacidad Cisterna B}} \right)^{0.55}$$

$$\text{Costo de la Cisterna A} = 52,300 \text{ USD} \left(\frac{123.47}{443.66} \right)^{0.55} = 25,881.106 \text{ USD}$$

Costo redondeado de la cisternas = 31,850 (Referencia 15)

Capacidad: $25 \text{ m}^3 = 6,605 \text{ gal}$

Diámetro: 10 ft

Longitud: 13.12 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo redondeado en el año 2004 = 29,400 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIBRIDO DE COX

Capacidad: 22 m³ = 5,813 gal

Diámetro: 10 ft

Longitud: 11.81 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 2004 = 27,400 USD

Costo redondeado en el año 2004 = 27,500 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIBRIDO DE COX

Capacidad: 2 m³ = 529 gal

Diámetro: 4.26 ft

Longitud: 6.56 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 2004 = 7,000 USD (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIBRIDO DE COX

Capacidad: 5.50 m³ = 1,453 gal

Diámetro: 6.56 ft

Longitud: 7.87 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 2

Costo del tanque en el año 2004 = 12,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIBRIDO DE COX

Capacidad: 50 m³ = 1,453 gal

Diámetro: 14.76 ft

Longitud: 11.48 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 1977 = 11,432.62 USD

Costo de los tanques en el año 2004 = $\left(\frac{1,122.68}{505.40} \right) \times 11,432.65 \text{ USD} = 25,396.14 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004 = 25,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIBRIDO DE COX

Capacidad: 12 m³ = 1,453 gal

Diámetro: 8.99 ft

Longitud: 8.53 ft

Material: Acero al carbón

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 1977 = 4,855.93 USD

Costo de los tanques en el año 2004 = $\left(\frac{1,122.68}{505.40} \right) \times 4,855.93 \text{ USD} = 10,786.81 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=11,500 USD c/u. (Referencia 54)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE BISIULITO DE SODIO TK-304 A

Capacidad: $2.50 \text{ m}^3 = 661 \text{ gal}$

Diámetro: 4.26 ft

Longitud: 8.20 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo redondeado en el año 2004=8,000 USD c/u. (Referencia 56)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ANTICORRUPTANTE TK-110 A

Capacidad: $3.50 \text{ m}^3 = 661 \text{ gal}$

Diámetro: 4.26 ft

Longitud: 8.20 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo del tanque en el año 2004 =9,600 USD

Costo redondeado en el año 2004=10,000 USD c/u. (Referencia 58)

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TK-311A

Capacidad: $10.50 \text{ m}^3 = 2,642 \text{ gal}$

Diámetro: 7.49 ft

Longitud: 10.17 ft

Material: FRP

Atmosférico

Cantidad de tanques: 1

Costo redondeado en el año 2004=17,500 USD c/u. (Referencia 56)

FILTRO A PRESIÓN TK-101A

Capacidad: $190.42 \text{ m}^3 / \text{h} = 838.547 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 3048 mm = 10 ft

Altura: 1524 mm = 5 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,500 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

Costo del equipo A= $\frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$

Costo del Filtro = $\frac{1,122.68}{871.94} \times 3,500 \text{ USD} = 4,506.48 \text{ USD}$

Costo redondeado en el año 2004=4,500 USD c/u.

DEALCANTIZADORES TK-102 A

Capacidad: $166.95 \text{ m}^3 / \text{h} = 735.193 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$

Diámetro: 3048 mm = 10 ft

Altura: 2438 mm = 7.999 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,300 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del Filtro} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,300 \text{ USD} = 4248.97 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,300 USD c/u.

SEPARADOR DE FLOJOS

$$\text{Capacidad: } 333.9 \text{ m}^3/\text{h} = 1470.385 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 3048 mm = 10 ft

Altura: 5400 mm = 17.717 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 54)= 11,000 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de la Torre} = \frac{1,122.68}{505.40} \times 11,000 \text{ USD} = 24,435.06 \text{ USD}$$

SEPARADOR DE FLOJOS

$$\text{Capacidad: } 150.28 \text{ m}^3/\text{h} = 661.695 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 2286 mm = 7.500 ft

Altura: 1981 mm = 6.499 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,000 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Cationica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,000 \text{ USD} = 3,862.70 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,000 USD c/u.

SEPARADOR DE FLOJOS

$$\text{Capacidad: } 149.85 \text{ m}^3/\text{h} = 659.890 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Diámetro: 2286 mm = 7.500 ft

Altura: 3200 mm = 10.499 ft

Material: Acero al Carbón Ahulado

Costo estimado de la gráfica (Referencia 53)= 3,400 USD (en el año de 1990)

Índice estimado en 1990= 871.94

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo de Unidad Anionica} = \frac{1,122.68}{871.94} \times 3,400 \text{ USD} = 4,377.72 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=4,500 USD c/u.

TANQUES DE LAVADO DE RESINA TV-205 A

Capacidad: $15.05 \text{ m}^3 = 3975.789 \text{ gal}$

Diámetro: $2743 \text{ mm} = 8.999 \text{ ft}$

Altura: $5100 \text{ mm} = 16.732 \text{ ft}$

Material: Acero al Carbón Ahulado

Equipo A (TV-205)

Capacidad: $15.05 \text{ m}^3 = 3975.789 \text{ gal}$

Diámetro: $2743 \text{ mm} = 8.999 \text{ ft}$

Equipo B (TK-101)

Capacidad: 40 m^3

Costo: 10,000 USD

$$\text{Costo del equipo A} = \text{Costo B} \left(\frac{\text{Capacidad Equipo A}}{\text{Capacidad Equipo B}} \right)^{0.6}$$

$$\text{Costo del equipo A} = 10,000 \text{ USD} \left(\frac{15.05}{40} \right)^{0.6} = 5562.703 \text{ USD}$$

Costo escalado = 5562.703 USD (en el año de 1977)

Índice estimado en 1977= 505.40

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Tanque} = \frac{1,122.68}{505.40} \times 5,562.703 \text{ USD} = 12,356.82 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=14,000 USD c/u. (Referencia 54 y 55)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE CLORURO DE POLIÉTER AG-302 A B

Cantidad de agitadores: 2

Potencia: $0.75 \text{ kw} = 1.006 \text{ hp}$

$$\text{Costo} = (4578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4578) (1.006)^{0.25}$$

Costo = 4584.586 USD

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.93 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004=6,500 USD c/u. (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE POLÍMETRO AG-302 A B

Cantidad de agitadores: 2

Potencia: $1.5 \text{ kw} = 2.012 \text{ hp}$

$$\text{Costo} = (4578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4578) (2.012)^{0.25}$$

Costo = 5452.022 USD

Costo estimado por Método 2 = 5,452.022 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987= 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004= 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 5,452.022 \text{ USD} = 7,523.90 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 7,500 USD c/u. (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE LIMPIEZA AG-3037-B

Cantidad de agitadores: 2

Potencia: 1.5 kw = 2.012 hp

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (2.012)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 5,452.022 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 5,452.022 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987 = 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004 = 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 5,452.022 \text{ USD} = 7,523.90 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 7,500 USD c/u. (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE BOLSUPINO DE SODIO AG-3047-A

Potencia: 0.75 kw = 1.006 hp

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (1.006)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 4,584.586 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987 = 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004 = 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del Agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.93 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 6,500 USD c/u. (Referencia 52)

AGITADORES DE PREPARACIÓN DE ANTI-INCENDIARIO AG-905-A

Cantidad de agitadores: 1

Potencia: 0.75 kw = 1.006 hp

$$\text{Costo} = (4,578) (\text{Potencia hp})^{0.25}$$

$$\text{Costo} = (4,578) (1.006)^{0.25}$$

$$\text{Costo} = 4,584.586 \text{ USD}$$

Costo estimado por Método 2 = 4,584.586 USD (en el año de 1987)

Índice estimado en 1987 = 813.6

Índice de costo de equipo de Marshall & Swift para el año 2004 = 1,122.68

$$\text{Costo del equipo A} = \frac{\text{Índice A}}{\text{Índice B}} \times \text{Costo B}$$

$$\text{Costo del agitador} = \frac{1,122.68}{813.6} \times 4,584.586 \text{ USD} = 6,326.93 \text{ USD}$$

Costo redondeado en el año 2004 = 6,500 USD c/u. (Referencia 52)

CLIENTE:
LUGAR:
Q =
FECHA:
ITM.

ANALISIS DE CONSUMO ELECTRICO ALTERNATIVA 3

FECHA		EQUIPO	CANT.	MOTORES			CONSUMO		TOTAL
ITM.				POT. (KW)	OP'N	ESPERA	OP'N	ESPERA	
P-301 A-D	Bombas de alimentación de agua cruda	4	29.84	3	1	80.52	29.84	119.36	
P-302 A-D	Bombas de alimentación a descalcificador	4	29.84	3	1	80.52	29.84	119.36	
P-303 A-D	Bombas de recirculación del descalcificador	4	3.73	3	1	11.19	3.73	14.92	
P-304 A-D	Bombas de transferencia de agua suavizada	4	29.84	3	1	80.52	29.84	119.36	
P-305 A-D	Bombas de alta presión de osmosis inversa	4	111.90	3	1	335.7	111.9	447.6	
P-306 A-D	Bombas de alimentación desmineralización	4	29.84	3	1	80.52	29.84	119.36	
P-308 A/B	Bombas dosificadoras de Sulfato de aluminio	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-309 A/B	Bombas dosificadoras de polímero	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-310 A/B	Bombas dosificadoras de sosa a descalcificador	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-311 A/B	Bombas de agua de dilución de ácido a descalcificador	2	11.19	1	1	11.19	11.19	22.38	
P-312 A/B	Bombas dosificadoras de ácido al descalcificador	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-313 A/B	Bombas dosificadoras de sosa a RO	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-314 A/B	Bombas dosificadoras de sulfato de sodio	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-315 A/B	Bombas dosificadoras de anti incrustante	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-316 A/B	Bombas de agua de dilución de ácido a desmi	2	3.73	1	1	3.73	3.73	7.46	
P-317 A/B	Bombas de agua de dilución de sosa a desmineralización	2	5.60	1	1				
P-318 A/B	Bombas dosificadoras de ácido a desmineralización	2	0.75	1	1	5.595	5.595	11.19	
P-319 A/B	Bombas dosificadoras de sosa a desmineralización	2	0.75	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-320 A/B	Bombas de recirculación de enjuague	2	18.65	1	1	0.746	0.746	1.492	
P-321 A/B	Bombas de solución de limpieza	2	18.65	1	1	18.05	18.05	37.3	
V-301 A/B	Ventiladores del descarbonatador	2	11.19	1	1	11.19	11.19	22.38	
AG-301 A/B	Agitador de preparación de Sulfato de aluminio	2	0.75	1	1	0.75	0.75	1.5	
AG-302 A/B	Agitador de preparación de polímero	2	1.50	1	1	1.5	1.5	3	
AG-303 A/B	Agitador de preparación de solución de limpieza	1	1.50	1	0	1.5	0	1.5	
AG-304 A/B	Agitador de preparación de solución de sulfato	1	0.75	1	0	0.75	0	0.75	
AG-305 A/B	Agitador de preparación de solución de anti incrustante	1	0.75	1	0				
TOTALES							786.94	312.86	1,099.80

FLUJO PLANTA 316.8 m³/h
kW / h : 786.94 kW/h
kW / m³ : 2.48 kW / m³
COSTO DEL kW / h : (CFE) \$1.32 kW/h
PRECIO DEL kW / m³ \$3.27 m³
\$1,034.82 hora
\$24,828.47 día

Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
\$82.3400	\$1.5632	\$0.4947	\$0.4118

TARIFA DE CFE PARA LA REGION NORESTE

Mínimo mensual: Es el importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable del 10% de la demanda contratada.

Demanda contratada: La demanda contratada la fija inicialmente el usuario, y su valor no será menor del 50% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 50% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, solo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario: Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo de la fracción IX, así como los establecidos por Actividad Presidencial.

Demanda Facturable: La demanda facturable se define como se establece a continuación.

DF = DP + FRI x max (DI - DP, 0) + FRB x max (DB - DPI, 0)

DF = \$1.00 cuando max(DI - DP) ES MAYOR DE CERO

Donde:

DF =

\$1.32 cuando max(DI - DP) ES IGUAL A CERO

DP es la demanda máxima medida en el periodo de la punta.

DI es la demanda máxima medida en el periodo intermedio.

DB es la demanda máxima medida en el periodo de base

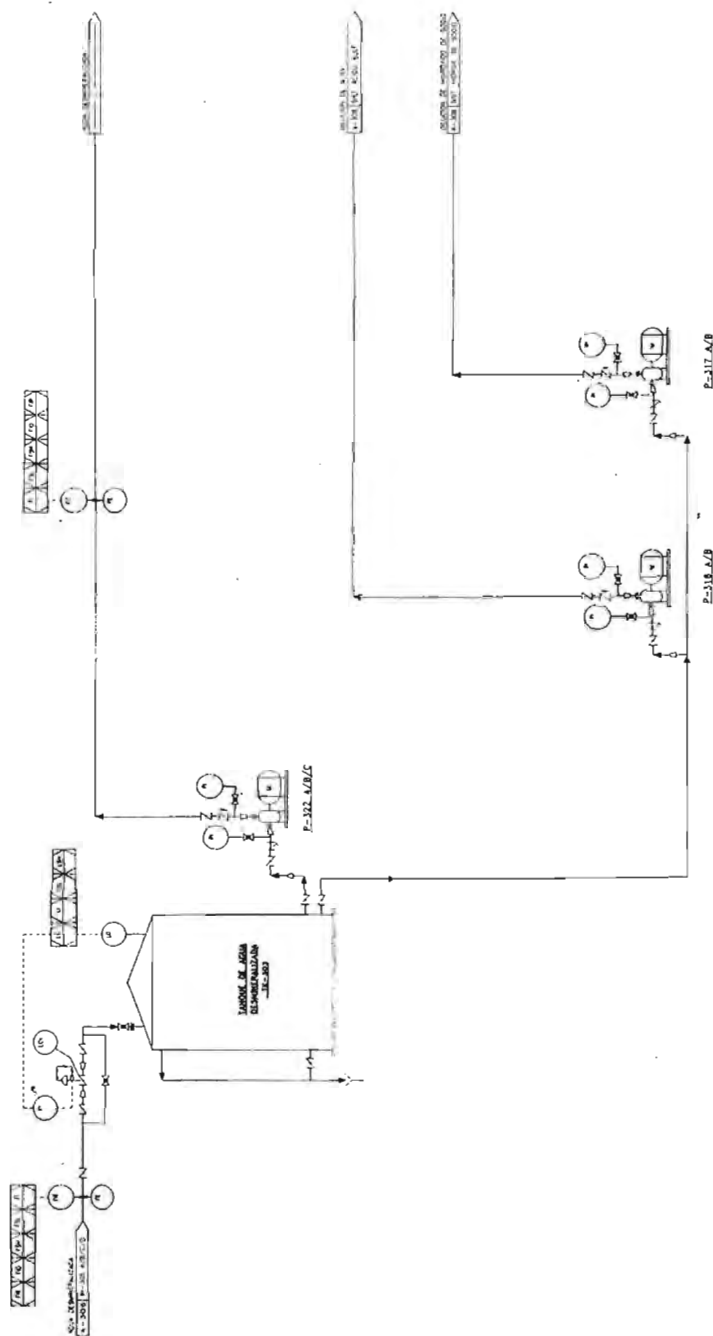
DPI es la demanda máxima medida en el periodo de punta e intermedio.

REGION	FRI	FRB
BAJA CALIFORNIA	0.141	0.07
BAJA CALIFORNIA SUR	0.195	0.097
CENTRAL	0.300	0.150
NORESTE	0.300	0.150
NOROESTE	0.162	0.081
NORTE	0.300	0.150
PENINSULAR	0.300	0.150
SUR	0.300	0.150

En las formulas las demandas facturables, el símbolo "max" significa máximo, es decir, cuando la diferencia de demandas entre parentesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.

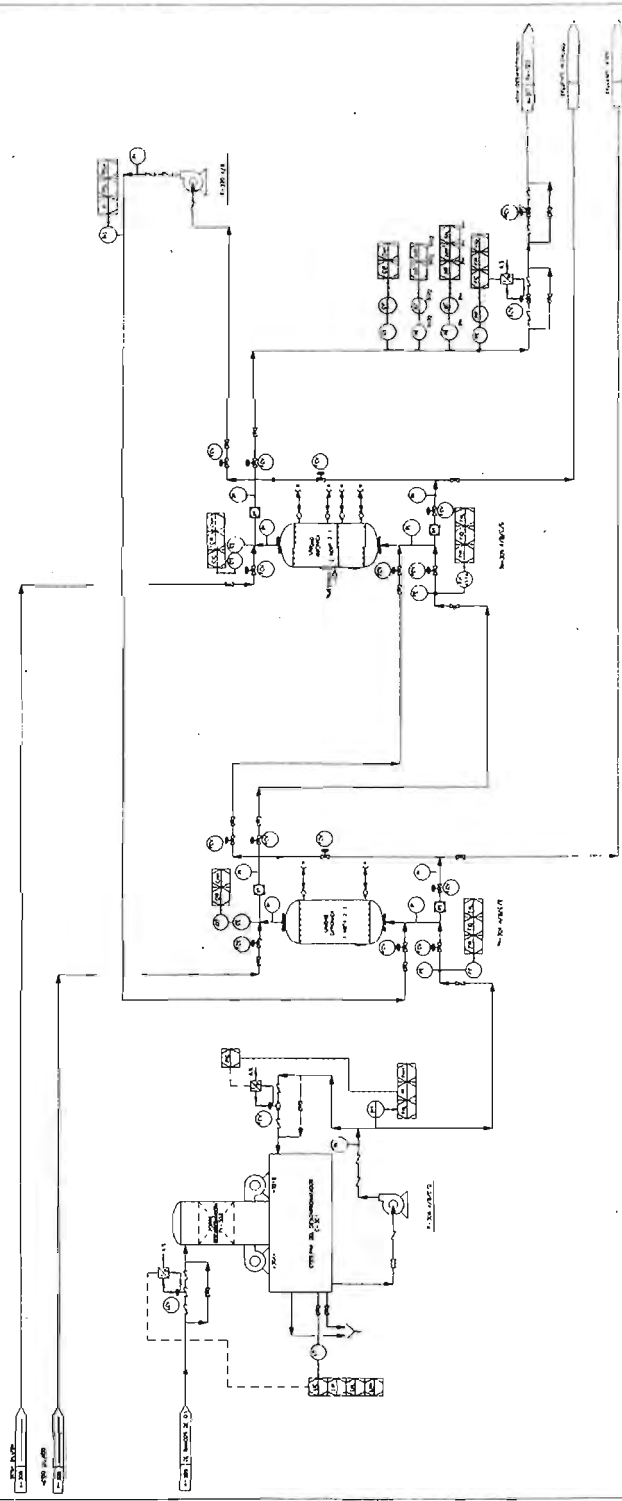
ANEXO 5

Diagramas de tubería e instrumentación



PLANTA DESALINADORA DE AGUA
 DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN
 SSI: DE AGUA DESALINADA

A-507



1. 1-100% - Unidad de control de proceso
 2. 2-100% - Unidad de control de proceso
 3. 3-100% - Unidad de control de proceso

DETALLE DE INSTRUMENTACION									
NO.	DESCRIPCION	UNIDAD	TIPO	POSICION	NOTAS				
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									



INSTITUTO DE INGENIERIA
 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
 DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
 INTERCAMBIO IONICO

NO.	FECHA	FECHA	FECHA
1			
2			
3			

UNAI

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

INTERCAMBIO IONICO

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

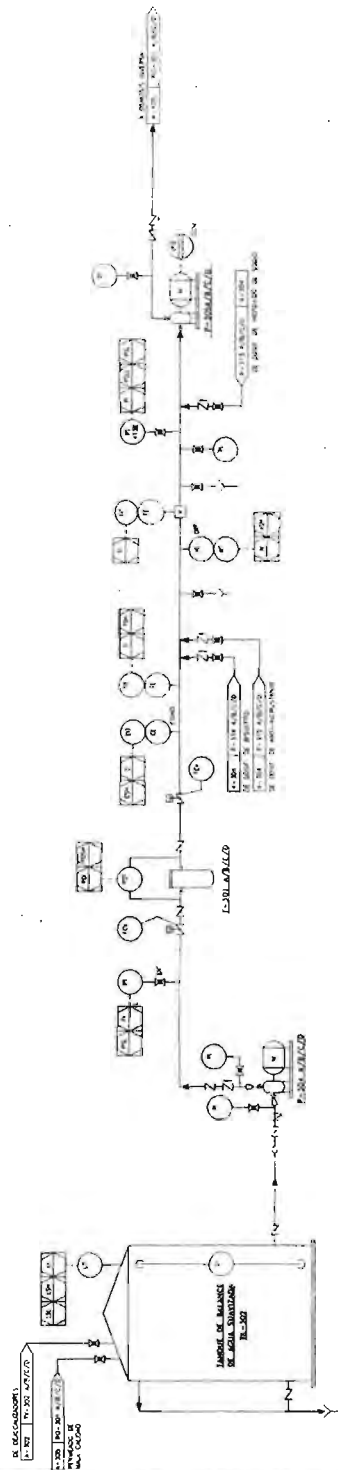
FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010

FECHA: 10/10/2010



NOTA:

1. - SE HA HECHO UN PLAN DE BARRIO ENTORNO AL AREA DE INTERES DEL PROYECTO.

2. - SE HA HECHO UN PLAN DE BARRIO ENTORNO AL AREA DE INTERES DEL PROYECTO.

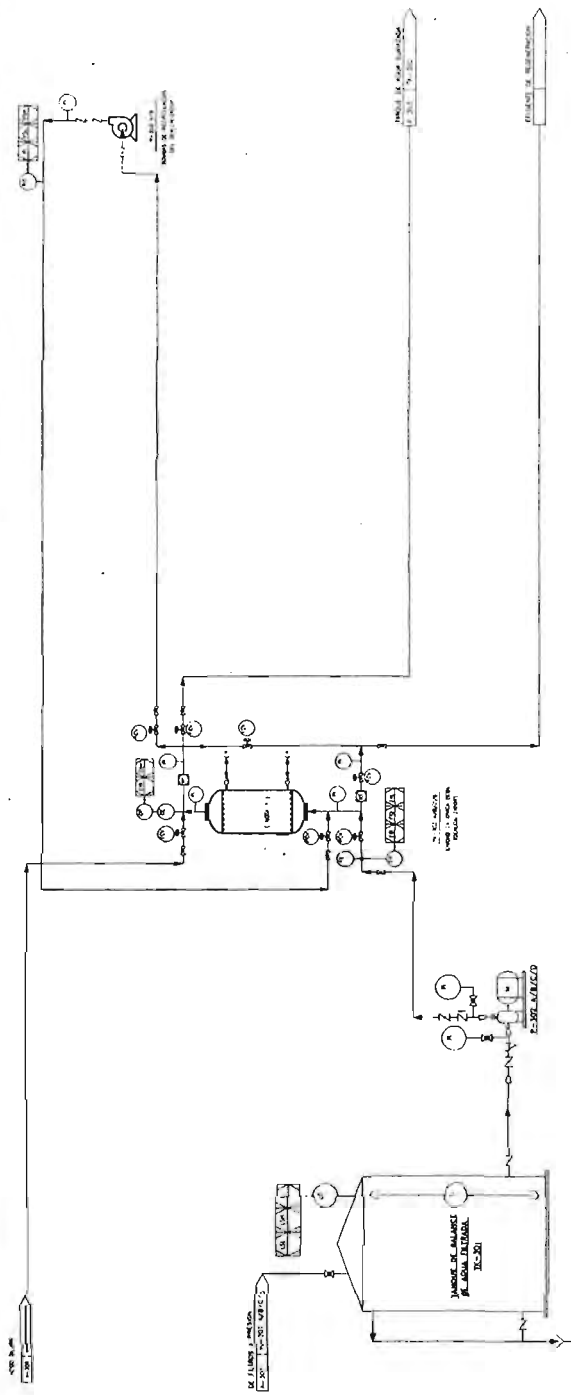
UNAM



ALTERNATIVA DE
PLANTA DE INSTRUMENTACION DE AGUA
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
ALIMENTACION A OSOMOS INTERNA

PROYECTO DE
LUGAR
A-303

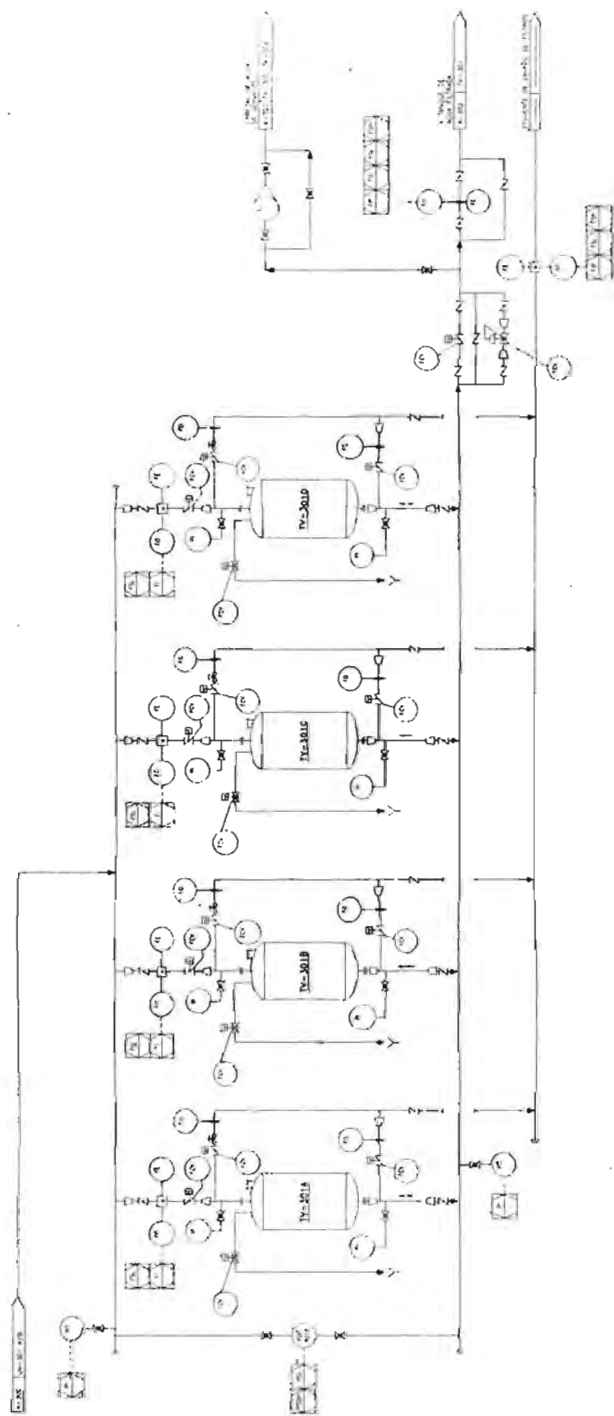
A



NOTA:

1. SE RECOMIENDA USAR AGUA DE MUESTRA PARA EL MONITOREO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

UNAM		A-302	
<p>Diagrama de tuberías e instrumentación</p> <p>Alimentación a Osmosis Inversa</p>		<p>UNAM</p> <p>A-302</p>	



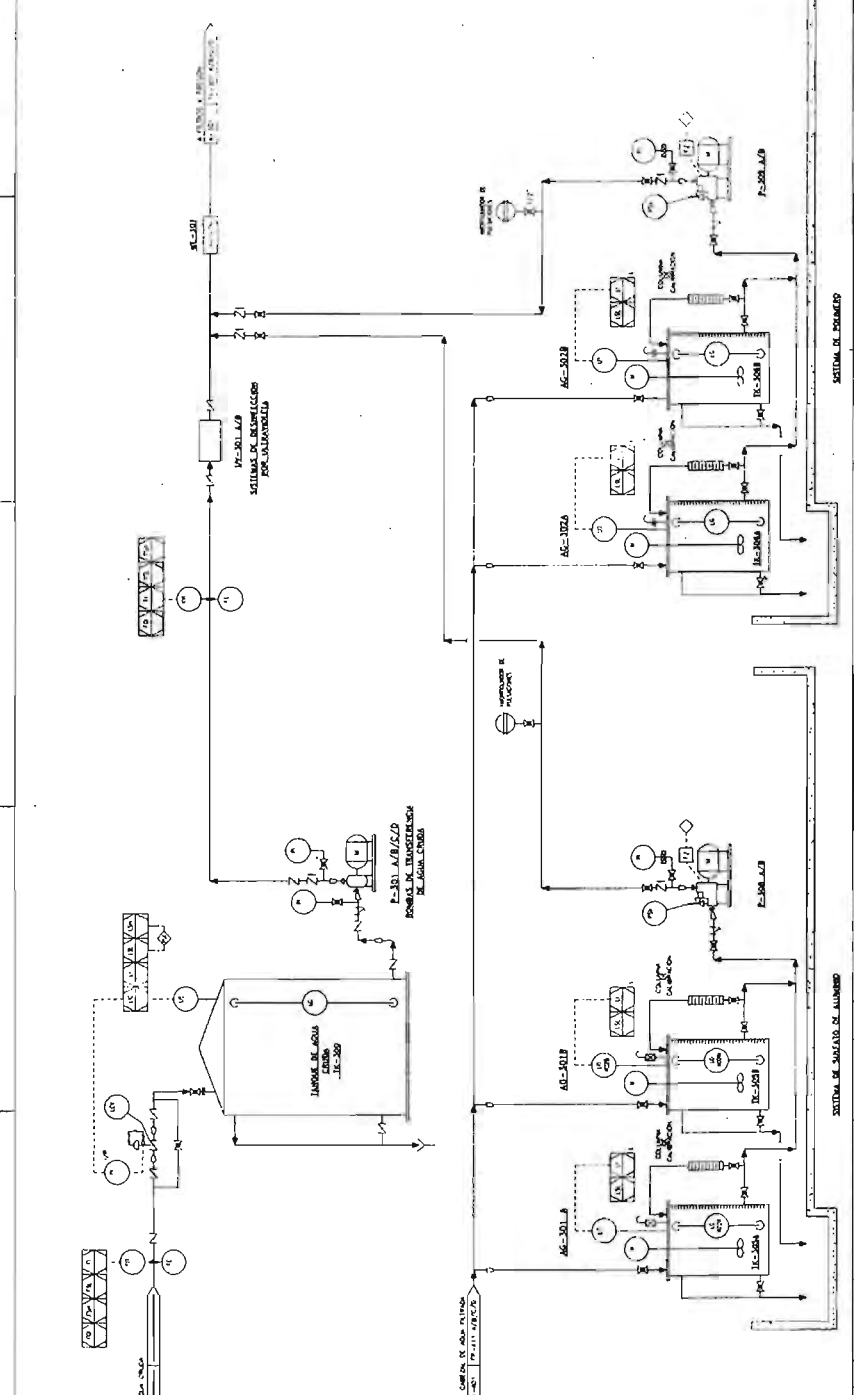
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
FILTRACION



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 INSTITUTO VICEPRESIDENCIAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS E INGENIERÍA

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					

A-301

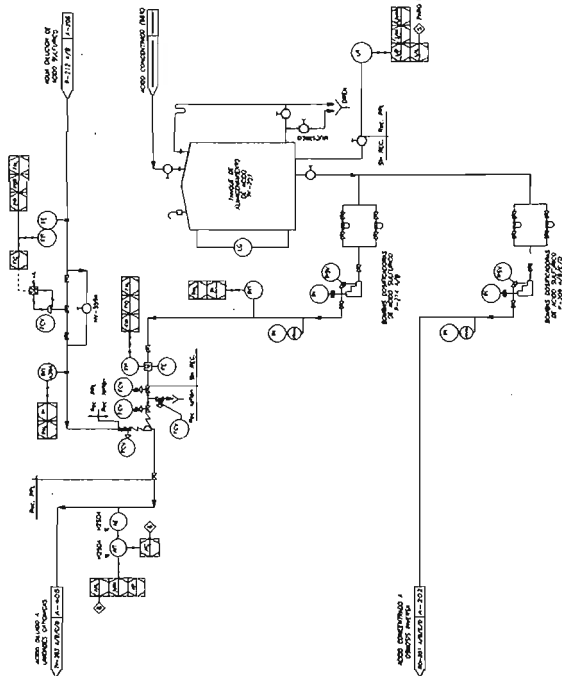


PLANTA DESARROLLO DE AGUA									
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION									
ACONDICIONAMIENTO DE AGUA CRUDA									
A-300									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100



UNIVERSIDAD

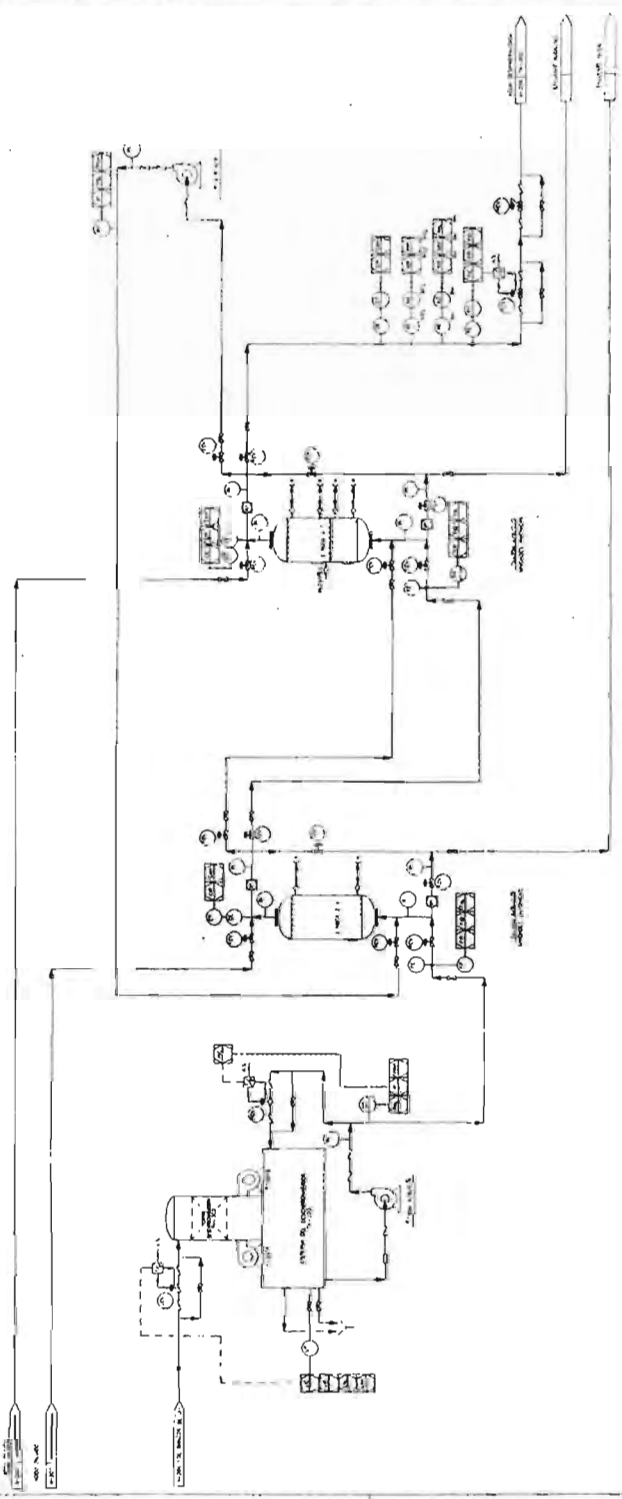
ANEXO COMPLETO DE DISEÑO DE



- SYSTEM ACTIVATION OF ACID -

[illegible]

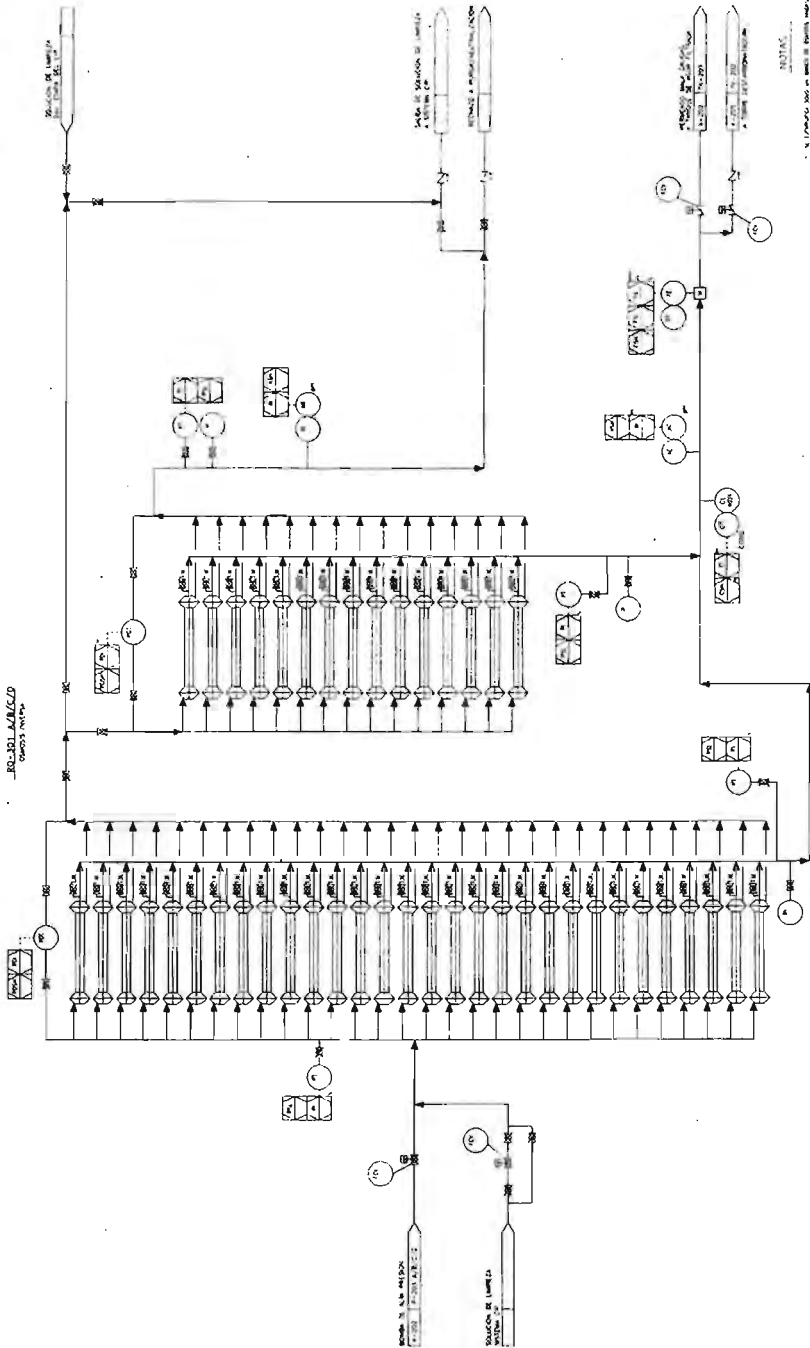
ALTERNATIVA B	PLANTA DESMINERALIZADORA DE AGUA	DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTALIZACION	SISTEMAS DE REGENERACION UNIDADES DE INTERCAMBIO IONICO
PROYECTO No	Auto No	SE	A
Lugar	A-207		



NOTAS:
 1. A NIVEL DE AGUA EN LA CUBETA DE RESINA.
 2. A NIVEL DE AGUA EN LA CUBETA DE RESINA.
 3. A NIVEL DE AGUA EN LA CUBETA DE RESINA.

		A-205	
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION INTERCAMBIO IONICO			
A-205			

RESERVA
CONTINUA



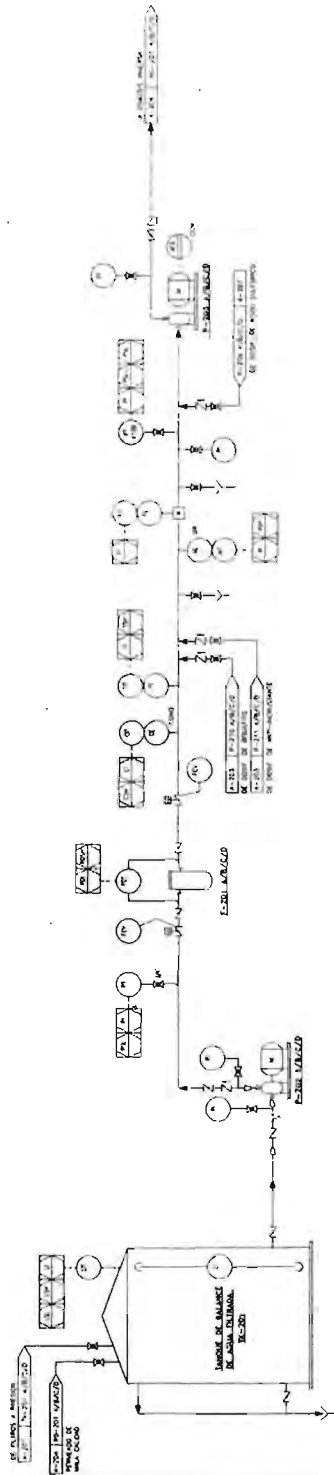
NOTAS

1. El sistema debe ser de tipo de presión constante, sistema automático.

UNAM		DISEÑO QUÍMICO Y MECÁNICO	
FOLIO 1		FOLIO 2	
FOLIO 3		FOLIO 4	
FOLIO 5		FOLIO 6	
FOLIO 7		FOLIO 8	
FOLIO 9		FOLIO 10	
FOLIO 11		FOLIO 12	
FOLIO 13		FOLIO 14	
FOLIO 15		FOLIO 16	
FOLIO 17		FOLIO 18	
FOLIO 19		FOLIO 20	
FOLIO 21		FOLIO 22	
FOLIO 23		FOLIO 24	
FOLIO 25		FOLIO 26	
FOLIO 27		FOLIO 28	
FOLIO 29		FOLIO 30	
FOLIO 31		FOLIO 32	
FOLIO 33		FOLIO 34	
FOLIO 35		FOLIO 36	
FOLIO 37		FOLIO 38	
FOLIO 39		FOLIO 40	
FOLIO 41		FOLIO 42	
FOLIO 43		FOLIO 44	
FOLIO 45		FOLIO 46	
FOLIO 47		FOLIO 48	
FOLIO 49		FOLIO 50	
FOLIO 51		FOLIO 52	
FOLIO 53		FOLIO 54	
FOLIO 55		FOLIO 56	
FOLIO 57		FOLIO 58	
FOLIO 59		FOLIO 60	
FOLIO 61		FOLIO 62	
FOLIO 63		FOLIO 64	
FOLIO 65		FOLIO 66	
FOLIO 67		FOLIO 68	
FOLIO 69		FOLIO 70	
FOLIO 71		FOLIO 72	
FOLIO 73		FOLIO 74	
FOLIO 75		FOLIO 76	
FOLIO 77		FOLIO 78	
FOLIO 79		FOLIO 80	
FOLIO 81		FOLIO 82	
FOLIO 83		FOLIO 84	
FOLIO 85		FOLIO 86	
FOLIO 87		FOLIO 88	
FOLIO 89		FOLIO 90	
FOLIO 91		FOLIO 92	
FOLIO 93		FOLIO 94	
FOLIO 95		FOLIO 96	
FOLIO 97		FOLIO 98	
FOLIO 99		FOLIO 100	

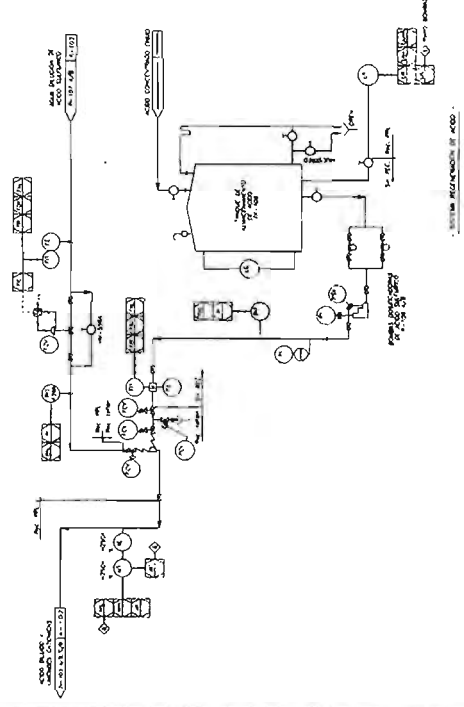
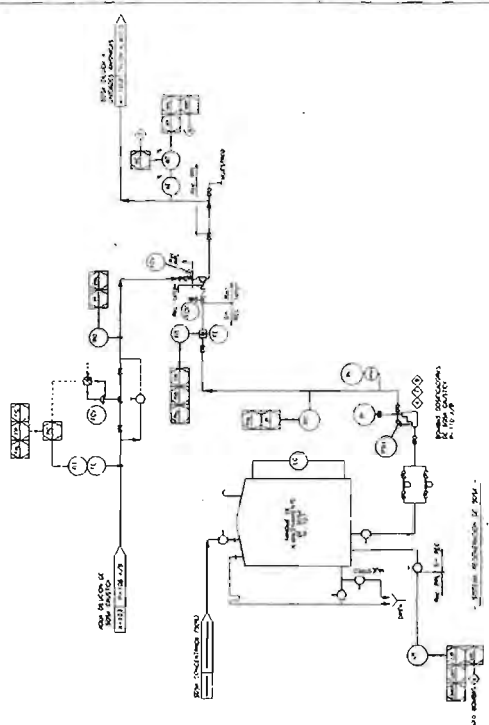
PLANTA DE CONSTRUCCIÓN DE AGUA
DIAGRAMA DE OSMOSIS INVERSA
BANCO 1 (TÍPICO)

A-204



NOTA:

1. El sistema de abastecimiento de agua debe ser diseñado teniendo en cuenta todos los factores que influyen en el mismo, como son: la topografía, el tipo de suelo, el tipo de edificio, etc.



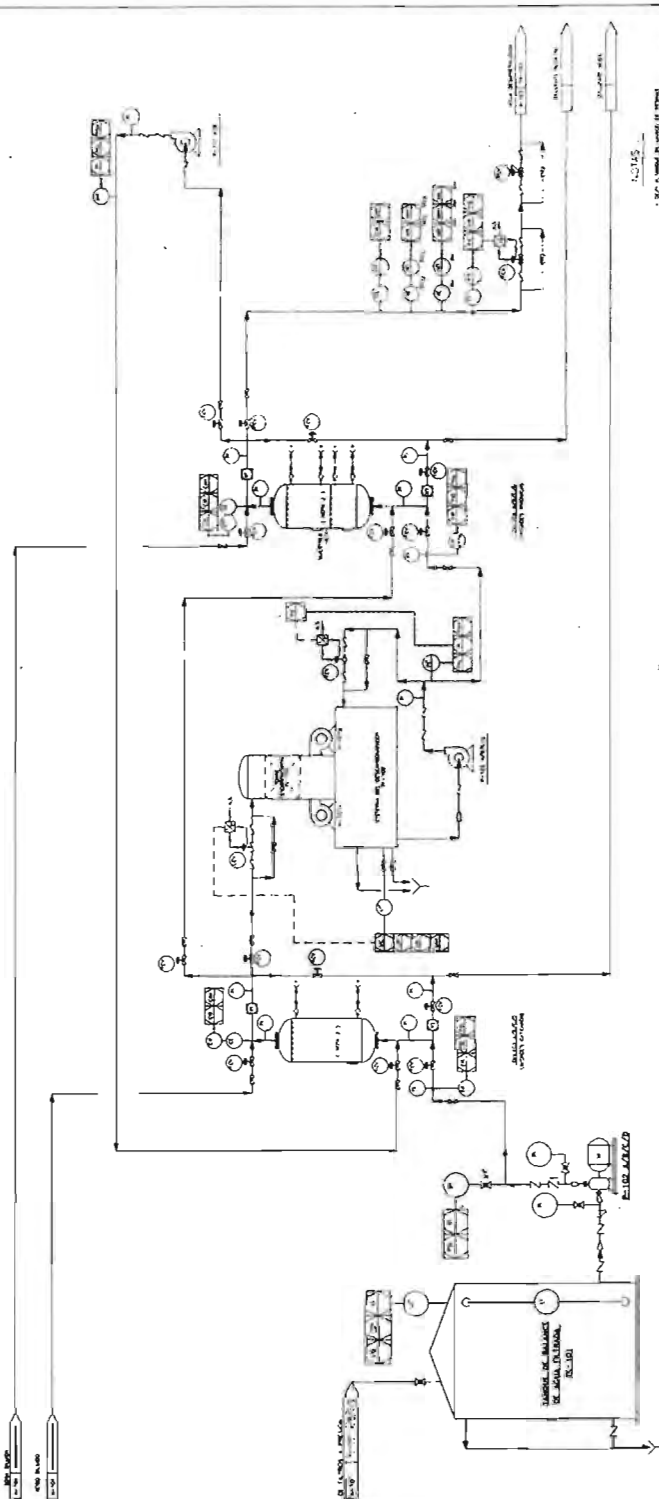


--	--



Year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	

ALTERNATIVA 1
PLANTA DESMINERALIZADORA DE AGUA
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
SIST. DE AGUA DESMINERALIZADA



1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

| | | |
|--|--|--|
| <p>ALTERNATIVA 1</p> <p>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA</p> <p>DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION</p> <p>INTERCAMBIO UNICO</p> | | <p>UNIVERSIDAD</p> <p>FECHA: 10/02/2023</p> <p>PROFESOR: A-102</p> |
| <p>1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.</p> | <p>1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.</p> | <p>1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.</p> |

TR=101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

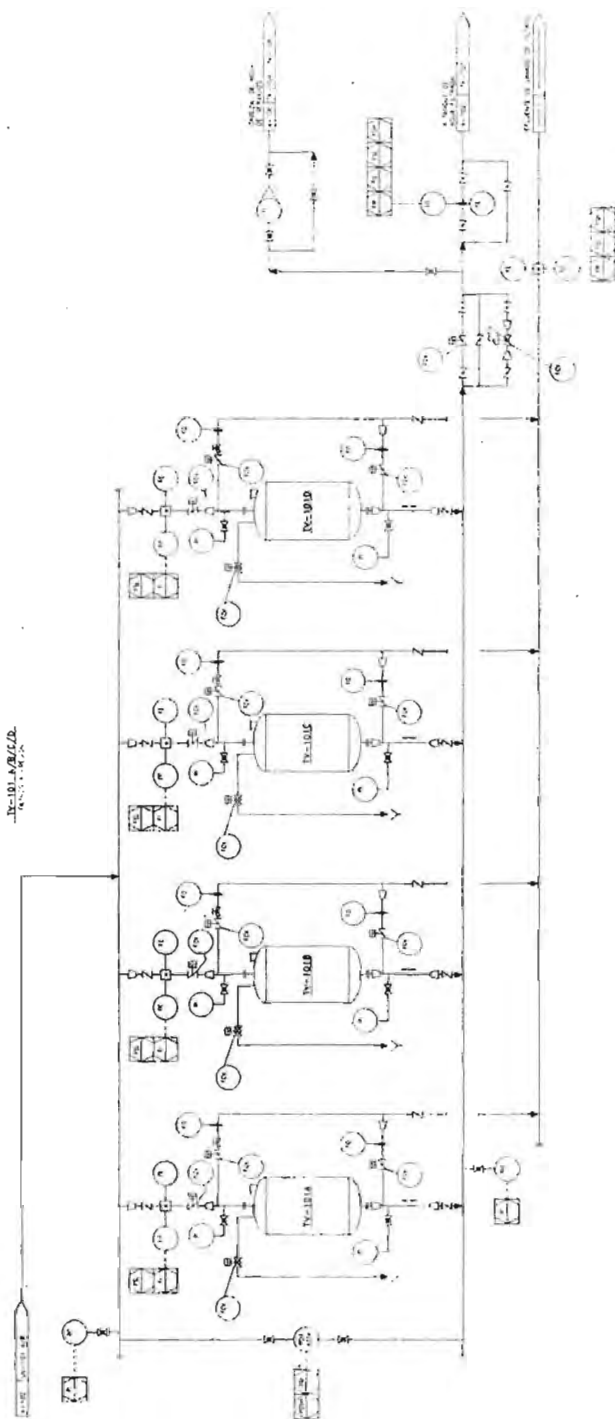
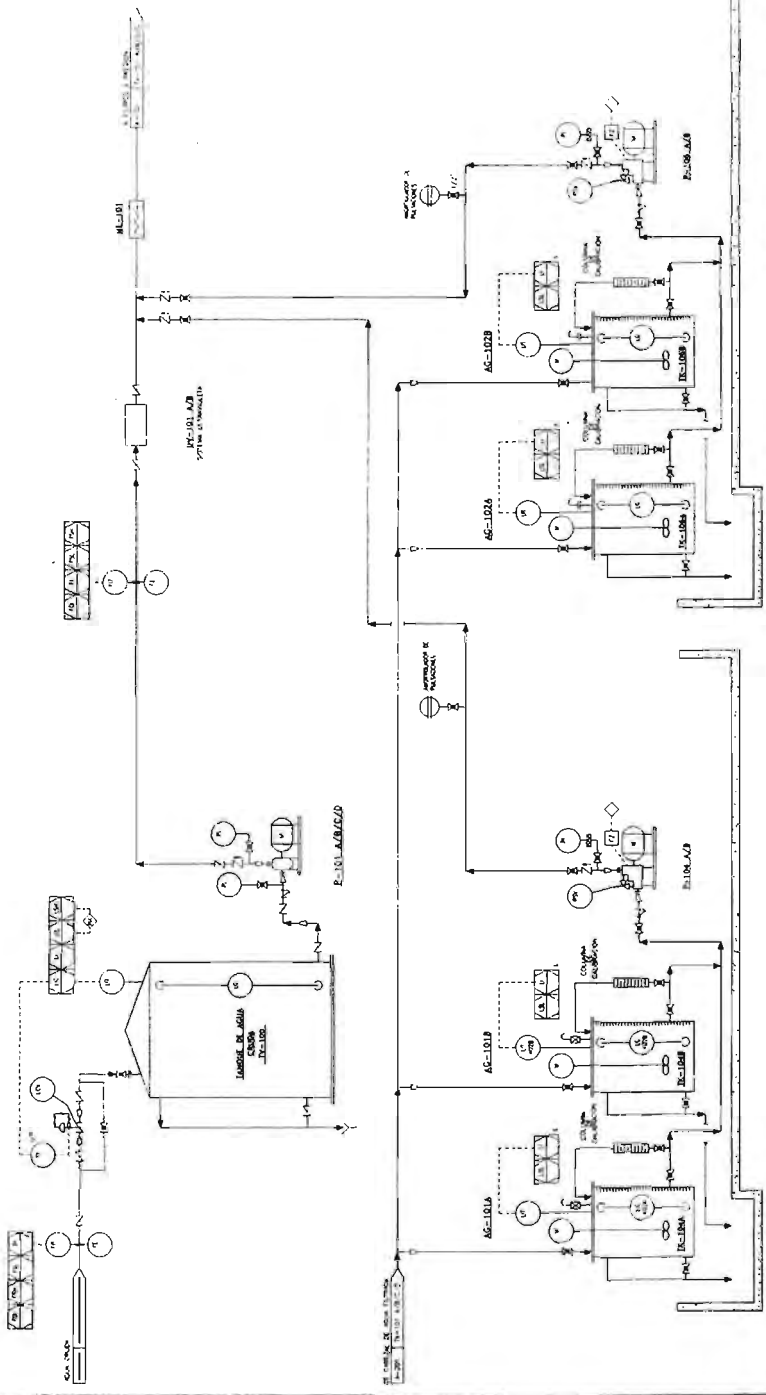


DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

FILTRACION

A-101



| | | |
|--|--|--|
| ALICIA MARIA J. ALICIA MARIA J.
PLANTA DE COMERCIALIZACION DE AGUA
DIAGRAMA DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO CON
ACONDICIONAMIENTO DE AGUA CRIOLLA | | No. de Proyecto: A-100
No. de Hoja: A |
| UNAM | | |
| No. de Hoja: A-100 | | |