

126



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ELABORACION DE PROYECTO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LAS DESCARGAS DE LA PLANTA DE UREA EN CIUDAD CAMARGO, CHIHUAHUA".

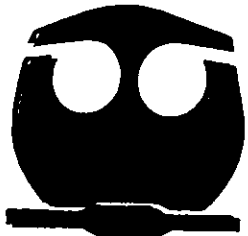
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

MARIO ALBERTO RENTERIA ORTEGA



MEXICO, D. F.

2000

EXAMEN DE GRADUACION
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

PRESIDENTE

Prof. Carlos Romo Medrano

VOCAL

Prof. Ramón Arnaud Huerta

SECRETARIO

Prof. Jesús González Pérez

PRIMER SUPLENTE

Prof. Carlos Galdeano Bienzobas

SEGUNDO SUPLENTE

Prof. José Luis López Martínez


Sitio donde se desarrolló el tema:

Grupo Real del Monte, S.A. de C.V.

Unidad Camargo

Cd. Camargo, Chihuahua

ASESOR DEL TEMA:


Prof. Ramón Arnaud Huerta

SUSTENTANTE:


Mario Alberto Rentería Ortega

DEDICATORIA.- Con todo respeto, dedico este trabajo para:

mis padres y hermanos. Gracias TIPO por todo lo que me diste y enseñaste....

mi esposa. Gracias por todo lo compartido y el respaldo que siento de Tí...

mis hijos. Representan toda mi esperanza, ilusión y razón....

Carlos Pérez C. Por el eslabón que tu ayuda representó....

Francisco Sánchez A., Francisco Quezada M., Fortunato López V. y Manuel Mendoza L. Por todas las vivencias en la Facultad de Química....

Ing. Carlos Delgadillo A. e Ing. José David García P. Por el apoyo para lograr este trabajo, por permitirme estar en su equipo y por su amistad....

Juan José Madrid M. Por su amistad y por su inmenso favor en continuar los trámites de mi exámen.

Jaime Martínez L., Adolfo Duarte B., Víctor Dimas, Arnoldo Durán A. Por su amistad.

Ing. Ramón Arnaud Huerta. Por ser guía paciente y amable de este proyecto.

INDICE

TEMA	HOJA
1.- Presentación del trabajo	001
2.- Antecedentes históricos de la empresa	008
3.- Unidad Industrial Camargo	010
4.- Proceso de producción de urea	012
4.1.- Propiedades de la urea	017
5.- La importancia del agua	019
5.1.- El ciclo hidrológico y la calidad del agua	022
5.2.- Fenómenos de asimilación y autpurificación de cuerpos receptores	025
6.- Características del agua de pozo	028
6.1.- Costos de extracción	029
7.- Costos del agua residual sin tratar	030
8.- Destinos de las aguas de enfriamiento	032
9.- Balance total de flujos de agua en la Unidad Camargo	035
10.- Descargas de aguas residuales registradas ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Delegación Chihuahua	037
11.- Clasificación de los contaminantes señalados en las aguas residuales	043
11.1.- Contaminación de las aguas residuales por nitrógeno	046
11.2.- Contaminación de las aguas residuales por grasas y aceites	050
11.3.- Contaminación de las aguas residuales por coliformes	051

11.4.- Contaminación de las aguas residuales por sólidos	053
12.- Fuentes de residuos contaminantes en la Unidad Camargo	056
12. 1.- Origen de cada uno de los parámetros contaminantes de las aguas residuales de la Unidad Camargo	058
13.- Calidad del agua requerida para la agricultura	062
14.- Información general sobre los tratamientos a usarse en el caso específico de las aguas residuales de la Unidad Camargo	068
14. 1.- Procesos para la eliminación de nitrógeno	070
14.2.- Remoción de sólidos suspendidos	073
14.3.- Procesos biológicos	074
14.4.- Remoción de sólidos disueltos	080
14.4.1.- Intercambio iónico	080
14.4.2.- Osmosis inversa	084
14.5.- Teoría general de clarificación	087
14.5.1.- Teoría relacionada directamente con la coagulación	090
14.6.- Remoción de organismos patógenos	099
15.- Alternativas de tratamiento para atacar la problemática de las aguas residuales de Grupo Real del Monte, S.A. de C.V., Unidad Camargo	100
15.1.- Alternativa 1.- Tratamientos separados para cada parámetro más incidente	101
15.1.1.- Alternativa 1.1.- Tratamiento para coliformes fecales y totales	101
15.1.2.- Alternativa 1.2.- Tratamiento para nitrógeno amoniacal	109

15. 1.3.- Alternativa 1.3.- Tratamiento para grasas y aceites	111
15.2.- Alternativa 2.- Tratamientos para tratar separada y conjuntamente las dos descargas para su posible reuso, sobretodo en el sistema de enfriamiento	113
15.2.1.- Alternativa 2.1	114
15.2.2.- Alternativa 2.2	125
15.2.3.- Alternativa 2.3	136
15.3.- Resumen de calidades de efluentes y costos de las diversas alternativas de tratamiento . Cuatro tablas	148
16.- Conclusiones y comentarios	152
17.- Bibliografía	157

PRESENTACION DEL TRABAJO

ANTECEDENTES Y CONFIGURACION DEL PLANTEAMIENTO USADO.- Como cualquier industria, la Unidad Camargo del Grupo Real del Monte, S.A. de C.V., productora del fertilizante urea, usa agua para diversos medios, tales como: producción de vapor, medio de enfriamiento, servicios sanitarios y generales, etc.

De inicios de operación de esta Unidad Industrial, en 1968, y hasta 1985, cuando las aguas realizaban su cometido en cada sistema, eran descargadas como "aguas residuales" hacia la única descarga autorizada en ese entonces por la Secretaría de Recursos Hidráulicos: el Río Florido (cuerpo receptor federal). Actualmente, y por cuestiones operativas, esta descarga fue dividida en dos, por lo que todas las aguas residuales son enviadas a los dos cuerpos receptores registrados ante la Comisión Nacional del Agua, (CONAGUA): la del Río Florido, que descarga en zona federal y la del Estanque de Riego que lo hace en terrenos de la misma Unidad.

Siendo el proceso de producción de urea, una tecnología de 1968, no cuenta con procesos inherentes para reaprovechar o tratar el agua de desecho. Por la obsolescencia del proceso, la eficiencia operativa, también repercute en las emisiones tanto al aire, como en aguas con contaminantes que alteran las aguas residuales. Esto a pesar de algunos ajustes que se realizan actualmente, sobre todo para minimizar los contaminantes más impactantes: nitrógenos, grasas y aceites, coliformes y sólidos suspendidos. También, y para este fin, se realizaron

proyectos de reaprovechamiento interno del agua, sobre todo la de enfriamiento (por su caudal grande de 18-20 metros cúbicos por hora).

Se debe tomar en cuenta de que esta región de México, no llueve lo suficiente, agudizándose el problema en los últimos años, por lo que el nivel freático se ha reducido bastante y partiendo de que en la Unidad Camargo se usa agua de pozo como medio de abastecimiento general, se puede llegar al riesgo de carecer del vital líquido si las condiciones de precipitación pluvial persisten, toda vez que dicha agua no esta siendo reaprovechada, máxime que el nivel de evaporación de esta región es alto (6 %), por lo que todo lo que se extrae del subsuelo no se recupera.

Por otra parte y debido a que mi función dentro de la Unidad Industrial Camargo del Grupo Real del Monte, S.A. de C.V., es la de Jefe de Laboratorio, y siendo una de las responsabilidades del departamento, se reportan a CONAGUA, Delegación Chihuahua, los resultados de los análisis de ambas descargas de aguas residuales. El trabajo analítico se lleva a cabo bajo mi supervisión y eventualmente en forma personal, todo en base a los requerimientos de la "Condiciones Particulares", fijadas en 1981 por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (SARH), y/o de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Periódicamente se envían muestras compuestas particulares de cada corriente al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua, que cuenta con laboratorios acreditados ante el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas, (SINALP), de la Secretaría de

Comercio y Fomento Industrial, (SECOFI), con la finalidad de que sus resultados, comparativos de una misma muestra, respalden nuestros trabajos internos.

Los casi 20 m³/hr de aguas residuales divididos en las dos descargas (1.5 hacia Río y 17-18 hacia el Estanque de Riego), llevan contaminantes que ocasionan— junto con el mismo flujo de agua— gastos de aproximadamente \$5000 cada tres meses. Se pudiera entender que la descarga al destino "Estanque de Riego" en los mismos terrenos de la Unidad Industrial, se tome como un reabastecimiento o recargamiento de los acuíferos, sobre todo que ya no tendría ningún costo adicional, pero se percibe una mejor aplicación de esta agua ya extraídas en el posible reuso, aunque implique un costo extra su tratamiento.

Viendo todo el contexto de la problemática que presentan las aguas residuales desde varios puntos de vista, como pudieran ser el social laboral y vecinal; los pagos a CONAGUA por los niveles de contaminantes y el flujo de agua; el abatimiento del nivel freático del pozo, que es la fuente de abastecimiento de agua en la Unidad; el reto que representa observar como se desperdicia el líquido una vez extraído, (aun de que se encuentre con niveles contaminantes); el costo de los tiraderos de materias primas y de proceso, producto terminado, materiales como el aceite; contaminación de cuerpos receptores; etc., se solicitó permiso a las Gerencias General y de Operación Industrial de la Unidad para estudiar la(s) posibilidad(es) de atacar dichas dificultades.

Al lograr las autorizaciones, se pensó en todo un espectro de soluciones posibles.

Se reflexionó, entre otros, en:

- Aprovechar las aguas internas de servicio hasta un punto donde no sea costeable su uso.
- Reducir a un mínimo el nivel de contaminantes antes de su fuente de emisión, esto como producto de actividades de mejoras operativas.
- Atacar a los parámetros contaminantes influyentes, (arriba citados), ya sea en forma individual, como en conjunto.
- Aprovechar al líquido residual en el riego de áreas verdes recreativas y fomento de cultivos de plantas para consumo humano y/o animal y de esparcimiento.
- Aprovechamiento del fluido residual en el reuso en los mismos sistemas operativos, (sobre todo en enfriamiento, que es donde se usa mayor cantidad de agua de servicio), una vez que hubiese pasado por un sistema fisicoquímico-biológico de tratamiento para lograr condiciones mínimas de calidad a las del pozo de abastecimiento.

En resumen, se deben de considerar varias preguntas al respecto:

- 1.- ¿Es conveniente tratar las aguas residuales, como tal, para cumplir con las normatividades o reaprovechamiento, según los procesos existentes para tal fin?
- 2.- ¿Sería conveniente exigir o establecer algunos cambios en los procesos de modo que, sin afectar la calidad, ni la eficiencia de los métodos de producción, resultasen aguas residuales de menor concentración y carga y esto implicaría métodos más fáciles y baratos?

3.- ¿Sería posible recuperar materiales de valor, para derivar algún provecho (reaprovechamiento), bien sea para minimizar la contaminación, con los ahorros inherentes?

Esto implica que se debe de conocer a fondo los problemas que las descargas de aguas residuales impactan en forma global.

Por todo lo anterior, y por motivos de que en el Laboratorio de la Unidad únicamente se cuenta – para estos fines- con equipos y procedimientos analíticos para estudiar las aguas de la mayoría de sus parámetros químicos y se carece de lo necesario para efectuar pruebas de tratabilidad, que nos indicasen, a nivel de laboratorio, el camino a seguir para eliminar o reducir al juicio mínimo, los parámetros contaminantes a través de trenes de tratamiento, y con esto, tener bases de opinión para resolver el problema de las aguas residuales con los recursos propios de la Unidad, se optó por buscar toda la información técnica y bibliográfica al respecto, para conformar la respuesta adecuada:

a) Se hizo contacto con casas prestadoras de servicios de Monterrey, N.L. y de la ciudad de México, para que, en base a nuestra información analítica de las descargas y demás condiciones locales, sobre todo, la calidad de agua requerida después del tratamiento, nos proporcionasen cotizaciones y documentaciones del tratamiento propuesto. En un momento dado, se podrían enviar muestras compuestas de aguas, como se hizo en caso del Laboratorio KAMPE, S.A. de C.V., para despejar todas las dudas iniciales del concepto.

Se recibieron respuestas en forma diversa útiles para que en el presente trabajo se plantearan tres posibles alternativas para atacar dicho problema y que sirven de base para tomar una decisión de respuesta de impacto técnico-económico-ecológico:

- 1.- Sistema actual de trabajo sobre aguas residuales.
- 2.- Abatir los parámetros contaminantes para estar dentro de las especificaciones de la NOM-006-ECOL-1996 y con esto reducir o eliminar los pagos a CONAGUA.
- 3.- Presentar la alternativa de factibilidad de reuso de las aguas residuales en los mismos sistemas de enfriamiento.

Las cotizaciones fueron para:

- Proceso para tratar por separado los coliformes, el nitrógeno y las grasas y aceites.
- Procesos para tratar conjuntamente a todos los parámetros, pero para cada descarga.
- Procesos para tratar conjuntamente a todos los parámetros para ambas descargas

b) La información técnica y bibliográfica recabada que sirvió para complementar la investigación, consistió de:

- + Manuales y experiencias de operación.
- + Documentos oficiales.
- + Cursos sobre tratamientos de aguas y de contaminación.
- + Bibliografía general respectiva al tema.
- + Cursos escolares.

+ Propuestas de proyectos para tratamiento de las aguas residuales.

Finalmente, se realizó la recopilación total, lográndose el presente trabajo, pudiéndose tomar como base de juicio (y de inquietud) para dar una respuesta global a un problema real, actual -y que merece su atención-, como lo es el caso de la contaminación ocasionada por las descargas de aguas residuales de la Unidad Camargo del Grupo Real del Monte, S.A. de C.V.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA

La empresa Guanos y Fertilizantes de México, fue creada por decreto presidencial y constituida como sociedad anónima el 17 de julio de 1943. La primera actividad encaminada a la producción de fertilizantes fue la recolección del guano de aves marinas en las islas mexicanas del Océano Pacífico y del Golfo de California, y que posteriormente se complementaron con la utilización de productos orgánicos procesados.

En 1946, se construyó la Unidad México para producir harina de hueso y en 1948, la antigua Unidad Guadalajara, beneficiadora de guano y productora de mezclas. En 1947, se inició la operación de la Unidad San Luis Potosí, produciendo superfosfato simple.

En 1951, se integra la Unidad Cuautitlán con una planta de amoníaco anhidro, una de ácido sulfúrico y otra de sulfato de amonio, complementándose en 1953 con una planta de superfosfato simple.

En 1962, la empresa instala plantas de fertilizantes nitrogenados y fosfatados que integran la Unidad Coatzacoalcos; en 1966, la planta de sulfato de amonio que dio origen a la Unidad Torreón.

En 1968, la planta de urea con la que se constituyó la Unidad Camargo y las plantas de sulfato de amonio y superfosfato simple que integra la Unidad Guadalajara.

A partir de 1965 se inicia la integración de algunas empresas productoras de fertilizantes como Fertilizantes de Monclova, S. A. (Unidad Monclova); Fertilizantes del Istmo, S. A. (Unidad Minatitlán); Fertilizantes del Bajío, S. A. (Unidad Bajío).

En 1977, se integra la empresa Fertilizantes Fosfatados Mexicanos, S. A. de Pajaritos, Veracruz (Unidad Pajaritos Fosfatados); en 1978, entra en operación la Unidad Querétaro.

En 1978, se cambia la razón social anterior por la de Fertilizantes Mexicanos, S.A.,(FERTIMEX).

En 1991, Fertilizantes Mexicanos, S. A. se separa, vendiendo sus plantas a particulares diversos; las Unidades Camargo y Bajío se unen en la compañía Fertilizantes Químicos Mexicanos, S. A. de C.V.,(FERQUIMEX).

El pasado 18 de diciembre de 1998, la empresa Fertilizantes Químicos Mexicanos, S. A. de C.V., se fusionó a la empresa Grupo Real del Monte, S. A. de C.V., siendo esta la empresa fusionante y FERQUIMEX la fusionada (Diario Oficial de la Federación del día 17 de diciembre de 1998).

UNIDAD INDUSTRIAL CAMARGO

La Unidad Industrial Camargo del Grupo Real del Monte, S. A. de C.V., se localiza en el kilómetro 1504 de la carretera Panamericana, en el municipio de ciudad Camargo, Chihuahua; que es una zona eminentemente agrícola y ganadera, con incursiones actuales de plantas maquiladoras. La planta se construyó para aprovechar el amoníaco anhidro y el bióxido de carbono, -productos ambos de la Planta Petroquímica de Pemex, localizada a un kilómetro de distancia de la Unidad Camargo-, con el propósito de proporcionar fertilizante para favorecer el desarrollo agropecuario e industrial de esta región de la República Mexicana.

Las condiciones climatológicas de la región de Cd. Camargo, Chih., son, (3):

Altura sobre el nivel del mar	1200	metros.
Humedad relativa	47	%.
Temperaturas máxima y mínima	+42 y -10	°C respectivamente.
Evaporación	5-6	%.
Precipitación pluvial	100	mm/año.
Temporada de vientos	feb. - abril	
Velocidad máxima del viento	100	Km/hr.

Por otra parte, la misión del Grupo Real del Monte es el de "producir y comercializar el fertilizante urea, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes con oportunidad y calidad de servicio, en aras de consolidar los resultados del grupo, garantizar su operación y permanencia en el mercado, como fuente de

empleo y oportunidades al personal que la integra. La capacitación, el trabajo en equipo y la experiencia de la organización y de su gente, son la garantía para asegurar que nuestras operaciones sean rentables, al asumir el compromiso de una mejora continua en su desarrollo, al utilizar al máximo la capacidad instalada con alto grado de eficacia en la seguridad, el mantenimiento, en el control y aprovechamiento de insumos y con apego estricto al cumplimiento del marco normativo, interno, jurídico, ecológico y laboral”.

“Las políticas generales del Grupo Real del Monte, son satisfacer las necesidades del mercado con puntualidad y calidad del producto, asegurar que nuestras instalaciones sean lo más rentable posible y atender en forma sistemática el control de todos los riesgos que son originados por sus procesos que afecten al personal, instalaciones y medio ambiente”.

En esta Unidad Industrial se produce urea aperdigonada sin aditivos, lo que la hace propicia para el uso agrícola, alimenticio e industrial. El producto se comercializa en toda la zona norte de la República: Durango, Sonora, Sinaloa, Coahuila y todo el estado de Chihuahua. Se estudia la posibilidad de exportarla a Estados Unidos (Texas, Nuevo Mexico y Arizona).

PROCESO DE PRODUCCION DE UREA

La planta de urea construida en Cd. Camargo, Chih., fue diseñada por Girdler Corporation de Louisville Kentucky, E.U.A., para Guanos y Fertilizantes de México, S. A. y fue puesta en operación en 1967, (1).

Teniendo una capacidad de diseño de 225 toneladas métricas (T.M.) de urea aperdigonada por día, pero debido a la necesidad de abastecer de fertilizantes al mercado regional y de ser más productivo, por un lado, y al límite de producción (sobre todo en verano) por recibir la materia prima bióxido de carbono en estado gaseoso, por otro, se hicieron modificaciones al proceso y la producción actual es de 260-280 T.M. por día en lo que localmente se llama "carga alta".

Las materias primas para el proceso de obtención de urea son el amoníaco (NH_3) y el bióxido de carbono (CO_2) los cuales son recibidas de PEMEX a través de tuberías.

El proceso es de Toyo-Koatsu y es de recicló total. Para explicarlo en forma general, se toma como referencia un diagrama de bloques, el cual consta de 5 pasos primordiales, a saber,

1.- Síntesis:

Se utilizan amoníaco, bióxido de carbono y carbamato de amonio (que no logró convertirse en urea y se recupera al 100 % del proceso, de aquí el nombre de "recicló total"), que son alimentados al reactor que trabaja a 225 Kg/cm² y a 195°C.

Aquí, la reacción consta de dos pasos:



siendo altamente exotérmica la primera reacción y ligeramente la segunda, y esta última reacción es incompleta, llegando a un 50% de conversión.

2.- Descomposición:

La sección de descomposición consta de tres equipos: descompositor de alta presión, descompositor de baja presión y separador de gases.

La corriente total de salida del reactor pasa a esta sección que tiene como función principal la de descomponer la corriente inicial en una líquida que consta de una solución acuosa de urea y en otra gaseosa que es el carbamato (que pasa a la sección de recuperación).

Esta descomposición se realiza por medio de ayuda de vapor sobrecalentado producido por una caldera que se tiene para tal fin. En esta fase el 50% de la urea del reactor pasa a un 58-60%, un 65-67% y a un 70-73% en cada equipo, respectivamente.

3.- Sección de concentración:

Está formada por los equipos concentrador y evaporador, sucesivamente. Como su nombre lo expresa, esta sección sirve para concentrar la corriente líquida de urea, que ya sólo trae trazas de amoníaco y bióxido de carbono. Las composiciones de diseño de las corrientes de salida de estos equipos son:

CORRIENTE	%NH ₃	%CO ₂	%AGUA	%UREA	%BIURET
concentrador	0.1	0.1	9.3	90.0	0.5
evaporador	trazas	trazas	0.5	98.5	1.0

y utilizan vapor como medio de calentamiento y barridos con aire caliente.

4.- Sección de aperdigonar:

La solución fundida de urea que sale del evaporador, fluye por gravedad, pasa a los coladores y luego a las regaderas de donde salen gotas de urea fundida, las cuales se solidifican a lo largo de la torre de aperdigonar y caen en lo que se llama cama fluidizada, donde el producto, ya sólido, es enfriado por una corriente de aire forzado de un ventilador.

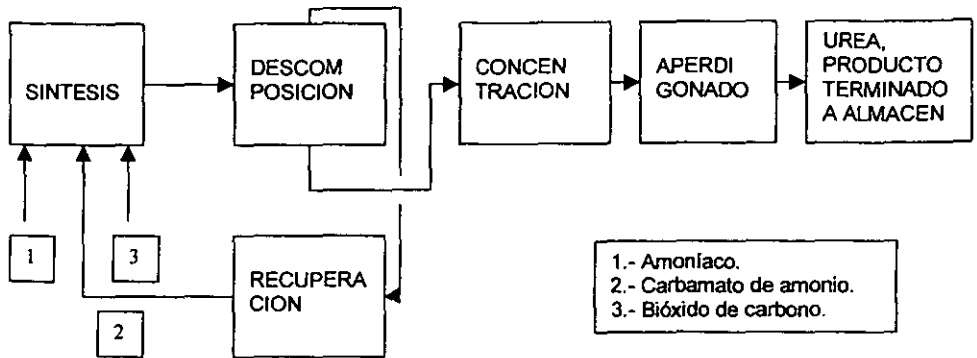
5.- Sección de recuperación:

Las corrientes gaseosas de los equipos de descomposición (alta, baja y separador de gases) van a dar al enfriador de alta, de baja y condensador de gases, respectivamente. Las composiciones de éstos son:

CORRIENTE	%NH ₃	%CO ₂
enfriador de alta	36.0	33.0
enfriador de baja	33.0	10.0
condensador de gases	9.0	5.0

en forma general, el enfriador de alta recolecta todas las corrientes de recuperación y de este equipo la solución es bombeada (reciclada) al reactor. Para lograr la recuperación, se emplea agua fría acondicionada en una torre de enfriamiento.

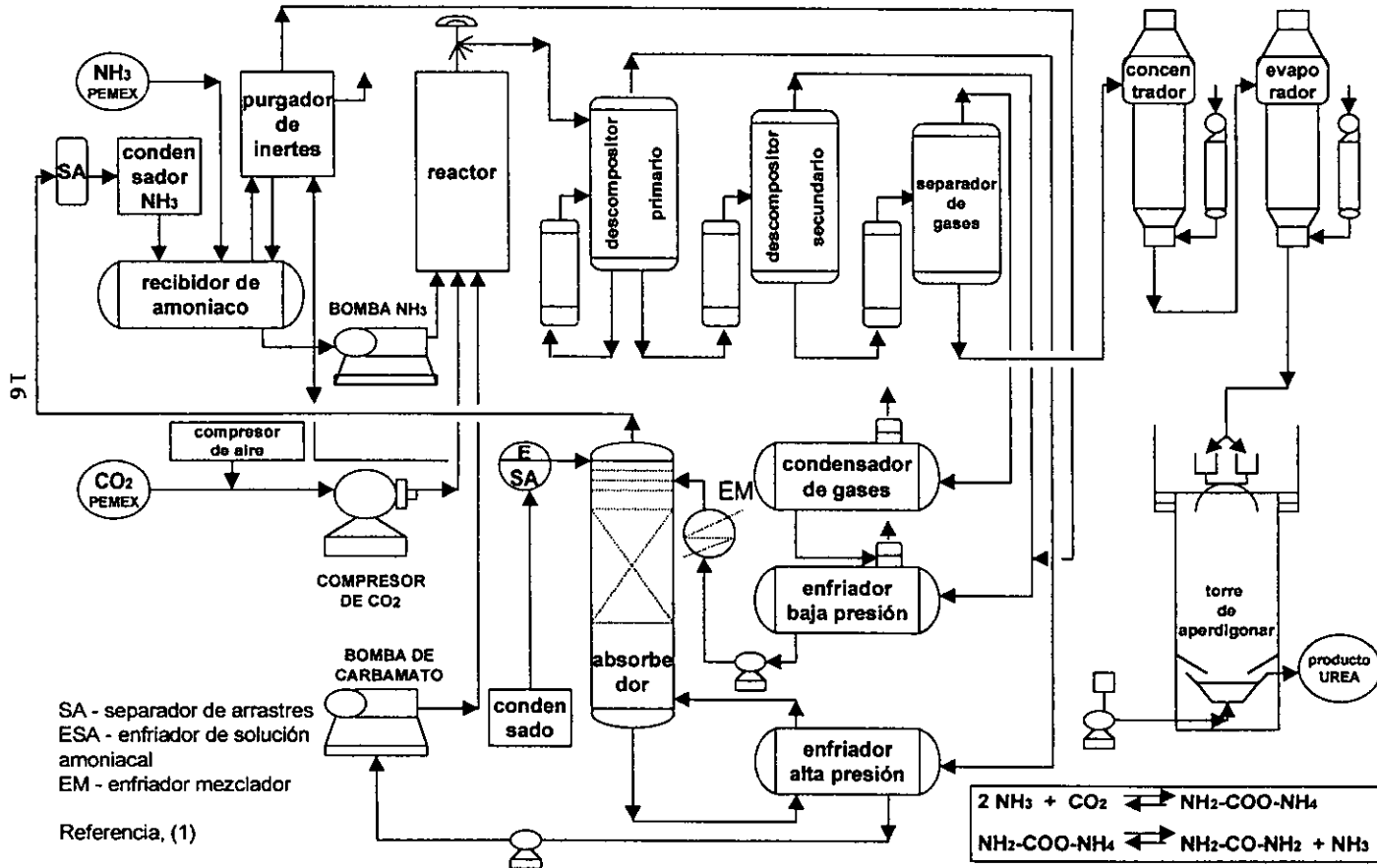
Resumiendo el diagrama de bloques:



RESUMEN DE CONDICIONES DE TRABAJO Y CARACTERISTICAS DE LAS CORRIENTES DE CONCENTRACION DE LA UREA:

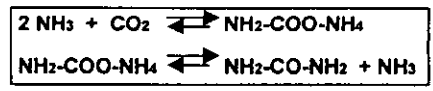
EQUIPO	PRESION (Kg/cm ²)	TEMPERATURA (°C)	RESULTADOS DE CALIDAD DE CADA CORRIENTE				
			UREA (%)	CO ₂ (%)	NH ₃ (%)	H ₂ O (%)	BIURET (%)
Reactor	225	195	50.0	15	15	20	–
Desc. Alta	17	154	58-60	4	5	31	–
Desc. Baja	1.05	113	65-67	0.5	1.5	33	0.1
Sep. Gases	ambiente	114	69-73	0.2	0.2	30.2	0.2
Concentrador	ambiente	115	90-92	0.1	0.1	9.3	0.5
Evaporador	ambiente	140	98-99	–	–	0.5	1.0

GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
 UNIDAD CAMARGO
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE UREA



SA - separador de arrastres
 ESA - enfriador de solución amoniacal
 EM - enfriador mezclador

Referencia, (1)



PROPIEDADES DE LA UREA

Peso molecular	60.06
Contenido de nitrógeno (%)	46.6
Color	blanco
Gravedad específica	1.335
Punto de fusión (°C)	132.7
Solubilidad en agua (partes por 100 partes de agua en peso), a:	
0 °C	66.7
20 °C	108.0
40 °C	167.0
60 °C	251.0
80 °C	400.0
100 °C	733.0
Humedad relativa crítica, a:	
20 °C	81%
30 °C	73%
Calor específico a 20 °C	0.32
Calor de solución en agua (endotérmico) cal/g	-57.8

referencias, (1, 2 y 3).

La calidad de la urea producida en esta Unidad Industrial, se rige por las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana, NOM-Y-34-1987. Si se compara los valores de estas especificaciones con los resultados obtenidos en el Laboratorio de la Unidad, se tienen, (3):

PARAMETRO DE CALIDAD	NOM-Y-34-1987	Unidad Cgo. ('97)
Nitrógeno total	46.0 % mínimo	46.42
Humedad	0.40 % máximo	0.40
Biuret	1.0 % máximo	0.81
Fierro	2.0 ppm Fe máx.	0.14
Cromo	* 0.1 ppm Cr máx.	0.010
Alcalinidad	0.015 % NH ₃ máx.	0.012
pH	7-9	8.9
Densidad aparente	760 ± 20 g/l	713
Tamaño de perdigón (-6+20)	96.0 % mínimo	96.3

*especificación del fabricante.

LA IMPORTANCIA DEL AGUA

Mientras que el papel del agua en la industria es menos importante que en la vida humana, donde es indispensable, resulta que en la primera requiere de agua químicamente pura. Cada industria, requiere del beneficio de un agua adecuadamente tratada, para que le sirva en los diferentes usos necesarios.

Los diversos usos generales del agua serían:

Doméstico, agrícola, pecuario, industrial, comercial, generación de energía eléctrica, navegación y recreación.

De éstos, el uso demandante es el doméstico (estimativamente en un 49%) y le sigue el industrial y el agrícola (con el 19 y el 15% respectivamente).

No toda el agua que se distribuye a los diferentes usos se consume, sino que, dependiendo del uso, una porción del agua se descarga como desecho después de ser utilizada.

Considerando a los principales demandantes de agua, el esquema estimado de suministro, consumo y descarga de agua tiene como distribución la siguiente,(4):

USO	DEMANDA (%)	CONSUMO (%)	DESCARGA (%)
doméstico	100	30	70
industrial	100	16	84
agrícola	100	86	14

Para uso industrial, se tiene la siguiente distribución estimada de la demanda de agua,(4):

USO INDUSTRIAL EN GENERAL	% DEL TOTAL DE AGUA SUMINISTRADO
enfriamiento	50
generación de vapor	20
proceso	15
otros	15

Las cifras de distribución de agua para uso industrial son sólo indicativas, pues la industria química y la generación de vapor varían en su comportamiento:

La industria química destina para uso de enfriamiento un promedio del 65% y para otros usos el 35%.

Siendo el uso doméstico el principal contribuyente de las aguas residuales generadas por el hombre, y la industria aun de que no contribuye tanto en el caudal, si aporta la mayor proporción y variedad de carga de contaminantes.

Las impurezas que deben removerse del agua, dependen naturalmente de la fuente de su suministro, y del uso que se le pretenda dar. Toda agua cruda, ya sea que se obtenga de pozos, ríos, lagos ú otras fuentes, contiene contaminantes químicos, ya sea disueltos o en suspensión adquiridos de la tierra, de descargas de drenajes, tanto municipales, como industriales. Las aguas crudas, aun siendo de la misma fuente de producción, difieren de composición unas a otras; así mismo, varían de concentraciones y el carácter iónico de las especies disueltas de

temporada a temporada en la misma localidad. Por todo lo anterior el tratamiento a seguir, será distinto en cada caso en particular.

El término "contaminante del agua" además de estar relacionado con la calidad natural del agua, está involucrado con los usos específicos a que el agua está destinada.

Los tipos de contaminantes, según clasificación general, son, (4):

+ Físicos:

Tienen un efecto estético y relacionado con el equilibrio ecológico natural. La turbiedad, color, materia flotante, los sólidos (suspendidos, disueltos, totales y sedimentables), temperatura, pH, conductividad, olor y sabor, interfieren con la transferencia de gases entre el medio acuático y el aire, provocando cambios biológicos drásticos.

+ Químicos y fisicoquímicos:

Afectan a las poblaciones biológicas acuáticas y tienen efectos sobre las instalaciones ergidas por el hombre (estructuras, puentes, etc.):

acidez, alcalinidad, dureza, cloruros, hierro, manganeso, fluoruros, sulfatos, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, carbón orgánico total, nitrógeno (en todas sus formas), fósforo (en todas sus formas), sulfuros, grasas y aceites.

+ Tóxicos:

Intervienen en las cadenas tróficas, con consecuencias que van desde el crecimiento anormal de especies, hasta intoxicaciones generalizadas en el hombre ú otros animales:

detergentes, metales pesados (cromo, mercurio, plomo, arsénico, cadmio, selenio), cianuros, insecticidas, etc.

+ Bacteriológicos:

Tienen importancia fundamental en cuanto a sus efectos patógenos en el hombre o en otros animales, sin contar los efectos de envejecimiento prematuro de los cuerpos receptores de las aguas residuales ocasionado por la presencia no natural de un exceso de poblaciones biológicas:

colonias bacteriológicas, organismos coliformes totales y fecales, estreptococos fecales.

+ Radiactivos, carcinógenos y mutagénicos:

Causan efectos y cambios químicos y fisiológicos en los seres vivos: radio, selenio, etc.

Con respecto al uso industrial, se genera una variedad innumerable de contaminantes característicos de cada caso, pero en general se estima que las aguas residuales de origen industrial contienen cantidades variables de todos o al menos, la mayoría de los contaminantes arriba mencionados. Cada contaminante pudiera estar clasificado en o varios grupos de tipos.

EL CICLO HIDROLOGICO Y LA CALIDAD DEL AGUA.

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza, cubriendo aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes de la superficie del planeta. A pesar de esta aparente abundancia, algunos factores limitan considerablemente la cantidad de agua

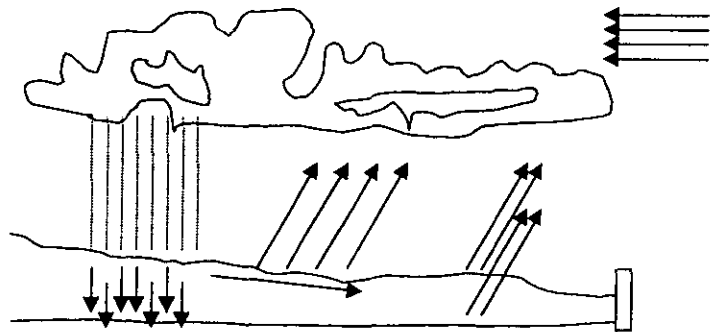
disponible para uso humano en el aspecto global. En la siguiente tabla se muestra la distribución del agua en el planeta, (18):

LOCALIZACION	VOLUMEN, 10 ¹² m ³	% DEL TOTAL
Áreas terrestres:		
Lagos de agua dulce -----	125	0.009
Lagos salados y mares interiores ----	104	0.008
Ríos -----	1.25	0.0001
Humedad del suelo -----	67	0.005
Agua subterránea -----	8,350	0.61
Polos y glaciares -----	29,200	2.14
Total áreas terrestres -----	37,800	2.8
Atmósfera -----	13	0.001
Océanos -----	1'320,000	97.3
Total -----	1'360,000	100.00

Como puede observarse, más del 97% del total del agua se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salados, lo cual la hace inapropiada para la mayoría de los usos. Del remanente 3%, un poco más del 2% se encuentra congelada en los polos y glaciares. La cantidad que realmente está disponible para ser utilizada por el hombre en sus diferentes actividades (técnicas, agrícolas y

abastecimiento), corresponde solamente a un 0.62%, el cual se encuentra en los lagos de agua dulce, ríos y cuerpos de agua subterránea.

El agua se encuentra en un estado de movimiento constante a través del ciclo hidrológico, el cual se esquematiza en la siguiente figura. "El agua atmosférica se condensa y cae sobre la tierra en forma de lluvia, nieve o alguna otra forma de precipitación. Una vez en la superficie de la tierra, el agua fluye formando corrientes superficiales, alcanzando cuerpos de agua mayores como los lagos y eventualmente los océanos, o se infiltra a través del suelo y alcanza los cuerpos de agua subterránea, los cuales pueden estar interconectados a algún río. A través de la evaporación de las aguas superficiales, o por evapotranspiración de las plantas, las moléculas de agua regresan a la atmósfera para repetir el ciclo", (18).



El agua en la naturaleza se encuentra casi en estado puro cuando está en forma de vapor. Debido a que el proceso de condensación requiere el contacto con una superficie, o bien, la presencia de núcleos, el agua adquiere impurezas en el momento mismo de la condensación. Adicionalmente, el agua adquiere impurezas cuando circula a través de las otras etapas del ciclo hidrológico y cuando entra en

contacto con materiales que se encuentran en el aire y sobre y bajo la superficie de la tierra. Las actividades humanas contribuyen con impurezas en forma de desechos domésticos e industriales, agroquímicos y otros contaminantes menos obvios. A la larga, estas aguas impuras completarán el ciclo hidrológico y regresarán a la atmósfera como moléculas de agua relativamente puras. Sin embargo, es la calidad del agua en las etapas intermedias la que tiene mayor importancia, ya que puede afectar al ser humano.

Las impurezas acumuladas por el agua a través del ciclo hidrológico y como resultado de las diversas actividades humanas, pueden estar en forma disuelta o suspendida. Los materiales disueltos consisten de moléculas o iones que son sostenidas en la estructura molecular del agua.

Por último, la contaminación del agua puede ser definida como la presencia en el agua de impurezas en tal cantidad y de tal naturaleza que impidan el uso del agua para un propósito establecido.

FENOMENOS DE ASIMILACION Y AUTOPURIFICACION DE CUERPOS RECEPTORES

En general, toda la gama de fenómenos naturales o inducidos en el medio ambiente interactúan entre sí traduciendo cualquier cambio en una serie de efectos, de suerte que, en el caso particular del ciclo hidrológico, los efectos del vertimiento de aguas residuales se pueden manifestar de inmediato y a largo o corto plazo.

La velocidad con que estos efectos se manifiestan depende fundamentalmente de la capacidad del ecosistema acuático de eliminar o diluir la causa que potencialmente provoca el efecto.

Esta capacidad se conoce como "capacidad de asimilación o autopurificación de medio acuático". La asimilación de contaminantes o autopurificación de un cuerpo de agua depende tanto de los factores fisicoquímicos (como el efecto de dilución y las reacciones químicas puras), como de factores biológicos (como el metabolismo de un sustrato por los organismos vivos), por lo cual, los fenómenos de asimilación y autopurificación dependen del equilibrio natural del medio acuático, y por lo tanto, son aprovechables en la medida en que se mantenga este equilibrio entre el volumen de agua y su riqueza química y biológica natural.

Un ejemplo, común en estos días, del desequilibrio ecológico inducido, es la aceleración del proceso de eutroficación de lagos y lagunas debida a la descarga no natural de aguas residuales ricas en nutrientes. Estos rompen el equilibrio natural del cuerpo de agua al favorecer el desarrollo de poblaciones biológicas, que agotan en un corto plazo la riqueza del medio y finalmente se traducen en la desaparición del cuerpo de agua.

Otro caso conocido y común de interferencias en el equilibrio natural del ecosistema acuático debida a la descarga de aguas residuales, es el rompimiento de las cadenas tróficas de las poblaciones acuáticas. A pesar del efecto de dilución, las poblaciones más sensibles a los cambios en la calidad del agua (como podría ser el plactón) desaparecen. Al suceder lo anterior, otros organismos que se alimentan de ellas tienden a desaparecer o emigrar dependiendo de su capacidad

de adaptación, y así sucesivamente, hasta que un cuerpo de agua – inicialmente biológicamente rico - pierde sus características originales limitando su uso para determinados fines, diferentes a los originales.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE POZO

Normalmente el medio de abastecimiento (repuesto) de agua en la Unidad Camargo es del pozo No. 2, que tiene un nivel dinámico de 42 metros y un caudal de bomba de 10 litros por segundo (864 m³/día) para un nivel de extracción normal de 8.33 litros por segundo (720 m³/día).

Del pozo el agua es enviada a un tanque elevado que tiene 30 m de altura (presión manométrica de 3 Kg/cm²) y una capacidad de 80 m³. Las funciones del tanque son las de depósito – reserva y la de regular la presión en todo el sistema.

Los análisis fisicoquímicos del agua de repuesto arrojan los siguientes resultados,(3):

Dureza total (mg/l de CaCO ₃)	450
Alcalinidad total (mg/l de CaCO ₃)	80
pH	7.8
Cloruros (mg/l Cl ⁻)	75
Sulfatos (mg/l SO ₄ ⁼)	1500
Conductividad (µmhos/cm)	3850
Sólidos disueltos totales (mg/l)	2530 *
Sílice (mg/l SiO ₂)	75

* En virtud a este resultado y en apego al Artículo 224,VI de la Ley Federal de Derechos de Materia de Agua de CONAGUA, que concede la exención del pago del derecho de extracción de aguas interiores salobres, cuando las 2530 ppm de sólidos disueltos totales (SDT), del agua de suministro, rebasan las 2500 ppm que

fija esta Ley. ACTUALMENTE LA UNIDAD NO PAGA A CONAGUA POR EXTRACCION DEL AGUA DE SUMINISTRO.

COSTOS DE EXTRACCION

Debido a la exención del pago de derecho de extracción de agua del pozo, sólo se debe de incluir en los costos de extracción, los de la energía eléctrica:

+ Motor de 45 amperes y potencia de 33.63 Kw.

+ Costo del Kw es de \$0.35744/Kw.

+ Costo total es de \$12.02/Kwh.

+ Costo mensual de servicio de \$15,000.00.

Hasta 1996, fecha en que se dejó de pagar el derecho de extracción, se pagaban alrededor de \$250,000.00 trimestrales, correspondientes a un consumo de 70,000 metros cúbicos extraídos de agua de pozo.

COSTOS DEL AGUA RESIDUAL SIN TRATAR

El pago de la empresa por metro cúbico de agua residual sin tratar se puede estimar en cada descarga de acuerdo a, (3):

A) Para el Río Florido:

Se incluyen los costos de extracción proporcionales a los 3 m³/hr descargados, más el pago trimestral a CONAGUA por el derecho de descargar las aguas residuales.

+ De los capítulos de "Características del pozo" y "Costos de extracción" de este trabajo, se deduce que el costo unitario de extracción es de:

$$\begin{array}{r} \$15,000/\text{mes} \\ \hline 21,900 \text{ m}^3/\text{mes} \end{array} = \$0.685/\text{m}^3$$

+ De los pagos trimestrales a CONAGUA, se calcula:

$$\begin{array}{r} \$4,000/\text{trimestre} \\ \hline 6500 \text{ m}^3/\text{trimestre} \end{array} = \$0.615/\text{m}^3$$

+ La suma de estos dos conceptos anteriores arroja un valor de \$1.30/m³.

+ Si en el año se descargan 26280 m³ de aguas residuales (3.0 m³/hr), el costo anual por esta descarga es de.

$$1.30/\text{m}^3 (26280 \text{ m}^3/\text{año}) = \$34,164/\text{año}$$

B) Para el Estanque de Riego:

Se incluyen los costos de extracción proporcionales a los 20 m³/hr descargados, más el pago trimestral a CONAGUA, más el costo de bombeo de esta agua desde la Unidad hasta el estanque.

+ El costo de extracción es de \$0.685/m³.

+ El pago a CONAGUA es de

$$\frac{\$1000/\text{trimestre}}{43,200 \text{ m}^3/\text{trimestre}} = \$0.023/\text{m}^3.$$

+ El costo de bombeo de agua residual es de \$0.600/m³.

+ La suma de estos conceptos es de \$1.308/m³.

+ Si al año se descargan 175200 m³ de aguas residuales al Estanque de Riego, el costo anual por metro cúbico anualizado será de:

$$\$1.308/\text{m}^3 (175200 \text{ m}^3/\text{año}) = \$229,162/\text{año}$$

C) Para ambas descargas, el costo será de:

A) Río Florido	\$ 34,164
B) Estanque de Riego	\$229,162
TOTAL	\$263,326

DESTINOS DE LAS PURGAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

A) Anteriormente.-

Desde principios de operaciones de la planta industrial, las purgas de los sistemas de enfriamiento del condensador de amoníaco y de la torre de enfriamiento, eran enviadas directamente a la cuenca del Río Florido, una vez que hubiesen hecho su cometido (trabajando a 1-2 ciclos de concentración, respectivamente).

Ver diagrama de flujo de purgas No.1.

B) Actualmente.-

Con el fin de reaprovechar la calidad y poder de enfriamiento de las purgas de enfriamiento, además de reducir el nivel de extracción de agua de repuesto (pozo), se estableció un sistema de reuso interno (recirculación) de estas aguas de desecho en ciertos equipos involucrados, y que consta de las siguientes:

BASES PARA LA MODIFICACIÓN DE LA PURGA CONTINUA TRADICIONAL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO:

1.- El purgar en forma continua por el fondo de la poceta de la torre de enfriamiento tenía las siguientes desventajas:

- + Se tira agua con baja temperatura (ya enfriada) y se repone con agua con temperatura más alta, originando con esto una mayor carga térmica a dicha torre.
- + Se purga agua limpia (sin sólidos) ya que las condiciones de diseño de la torre y la ubicación de la purga sirven como asentaderos.
- + El agua de purga no se aprovecha (reutiliza) antes de tirarla.

2.- Se integra una corriente de purga del condensador de amoníaco, la cual químicamente es semejante, haciendo con ésto que una corriente más fría se mezcle con el agua de la poceta de la torre de enfriamiento y se utilice como medio de enfriamiento, además, de que esta purga del condensador se adiciona a la de la CWT y se reutiliza antes de tirarla.

3.- Al purgar en forma continua de líneas de retorno de proceso, se obtienen las siguientes ventajas:

+ Se purga agua del punto crítico más caliente en donde se elimina carga térmica a la torre en relación a la temperatura (calor) de purga menos temperatura (calor) de agua de repuesto.

+ Las condiciones de turbulencia hacen que la purga contenga homogéneas las concentraciones de sólidos.

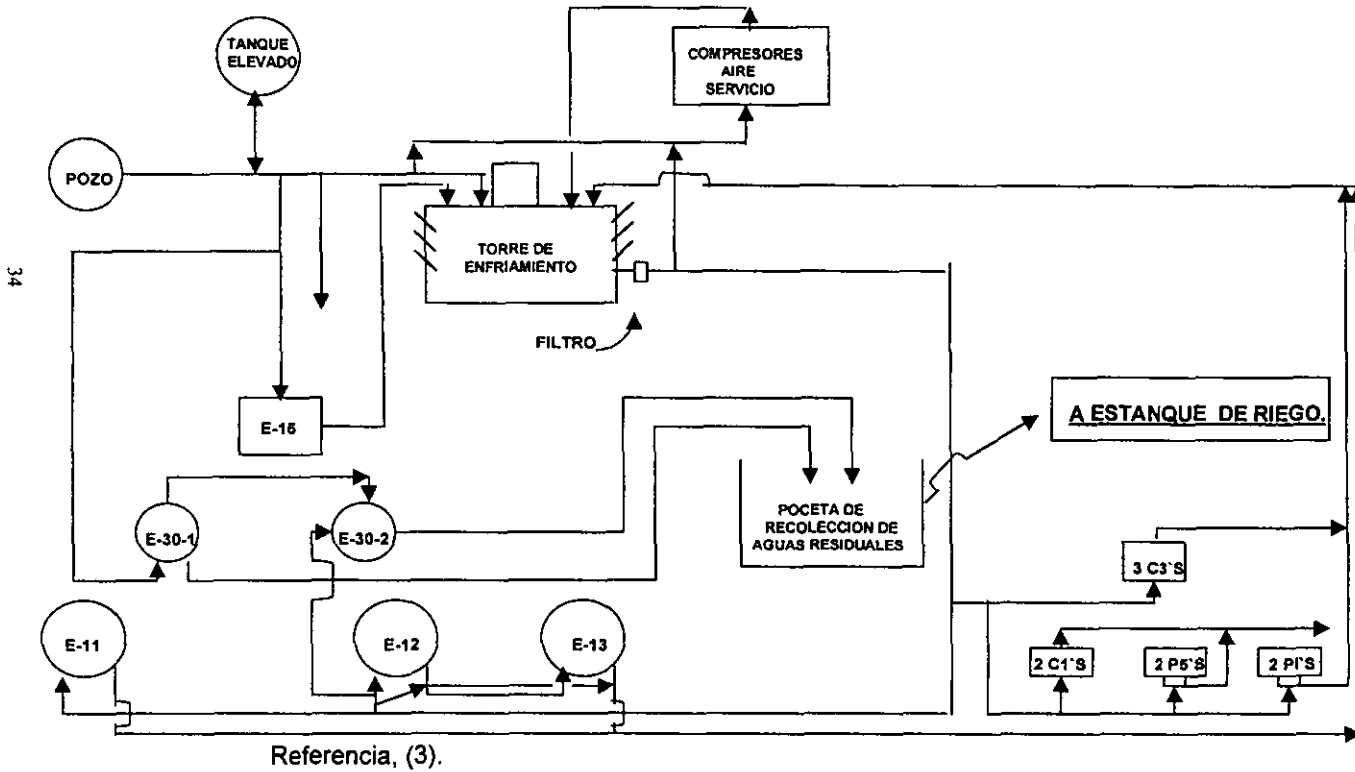
+ Se considera que a temperaturas más altas, la solubilidad de las sales más incrustantes es menor (generalmente sulfato y carbonato de calcio), por lo que se eliminan una mayor cantidad de sólidos.

+Se reutiliza esta purga como medio de enfriamiento.

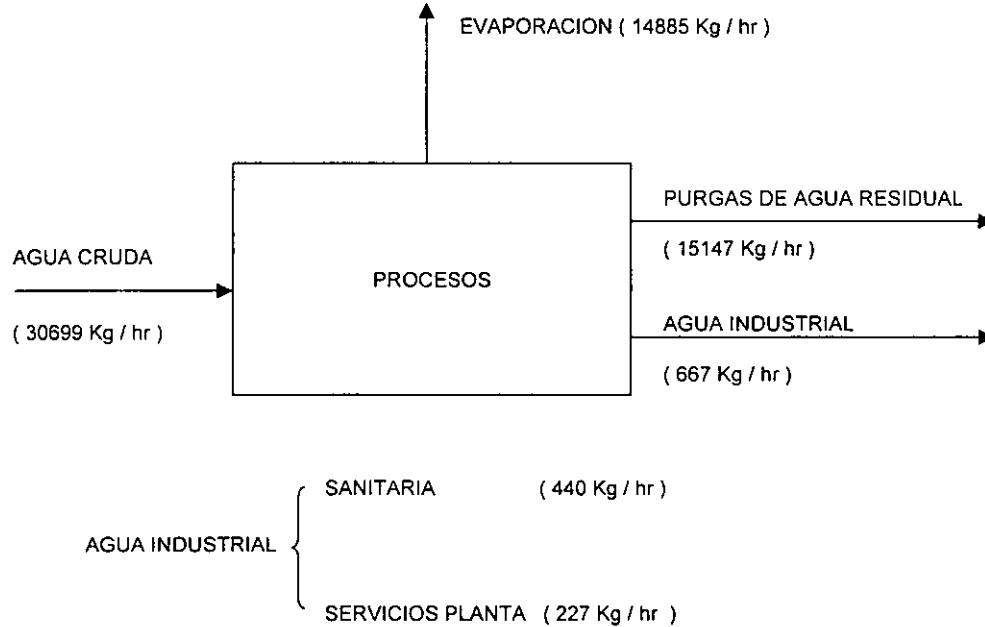
AL FINAL DEL CICLO, TODA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO, UNA VEZ QUE SE LE OBTUVO EL OPTIMO PROVECHO, SE ENVIA AL ESTANQUE DE RIEGO.

Ver diagramas de distribución de aguas de enfriamiento, (3).

GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
UNIDAD CAMARGO
DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE AGUA DE ENFRIAMIENTO



GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
UNIDAD CAMARGO
BALANCE TOTAL DEL DIAGRAMA DE
FLUJO DE AGUA



35

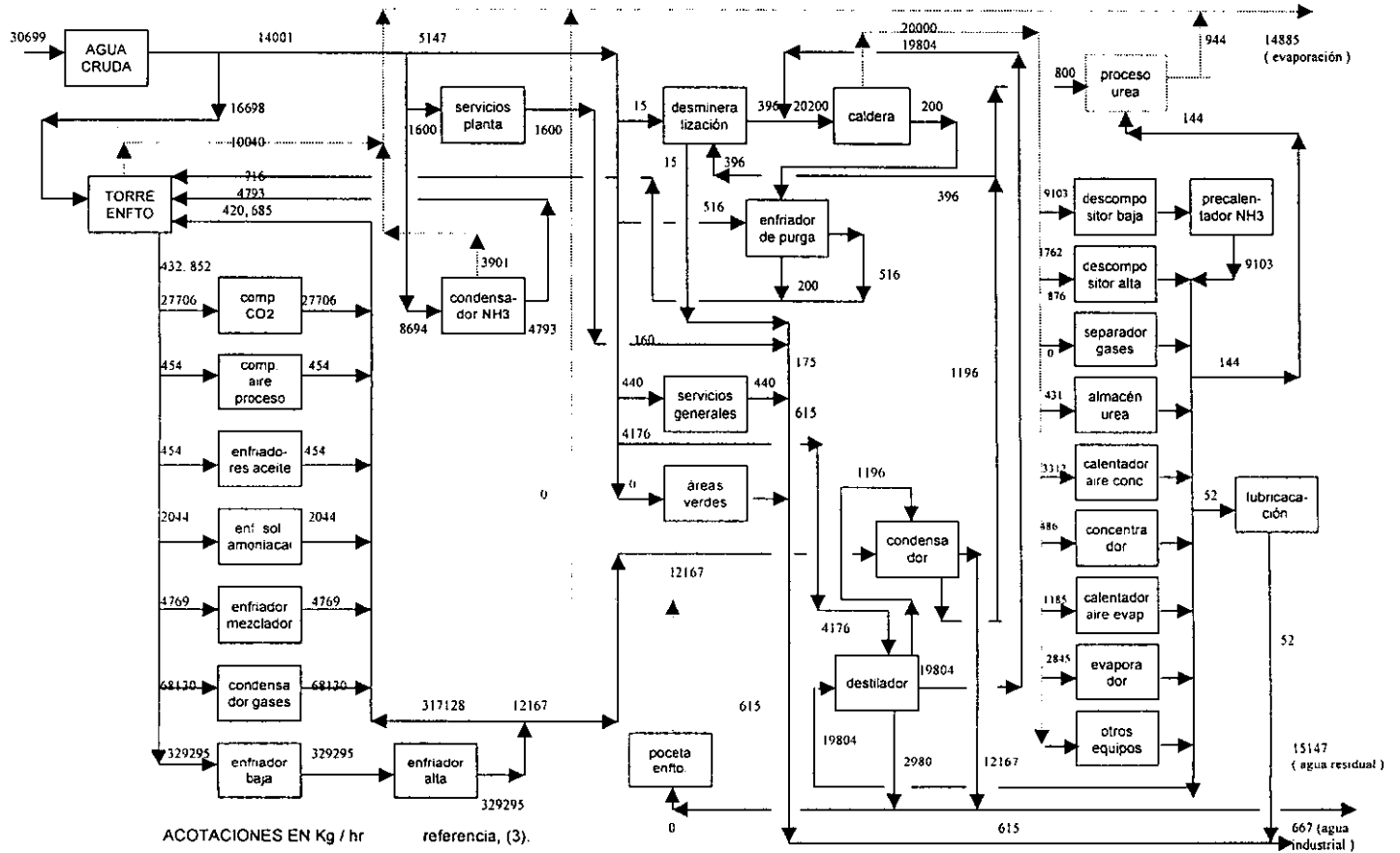
Para fines de cálculos , en el capítulo de " alternativas de tratamientos " se tomarán como bases de trabajo , los flujos de de las descargas de aguas residuales :

3 m³ / hr , para el Río Florido ,

20 m³ / hr , para el Estanque de Riego

referencia, (3).

**GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
UNIDAD CAMARGO
DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO DE AGUA**



DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES REGISTRADAS ANTE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), DELEGACION CHIHUAHUA

Desde inicios de operaciones, en 1967, todas las aguas residuales (síntesis, enfriamiento, sanitarias y de servicios generales) iban a parar a la cuenca del Río Florido (terrenos federales), pero una vez que se modificó el sistema de purgas de aguas de enfriamiento, parte de aquellas fueron enviadas a lo que se llama "Estanque de Riego", el cual es un tipo de presón o represa, que servía en sus inicios para regar 2 hectáreas de cultivo de maíz, en terrenos de la Unidad. Actualmente el agua se infiltra ociosamente y se evapora la mayor parte de ella.

Lo del huerto de cultivo fue un acuerdo entre la Secretaría del Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y la Dirección General de Fertilizantes Mexicanos, S.A. (FERTIMEX), una vez que la Gerencia de Campo y la Subgerencia de Investigación de la compañía hicieron los estudios pertinentes.

Recalcando, en la actualidad se tienen registradas ante CONAGUA dos descargas de aguas residuales, que son:

- 1.- Descarga al Río Florido.- Incluyen aguas de desecho de síntesis, sanitarias y de servicios generales. Capta también las aguas pluviales.
- 2.- Descarga al Estanque de Riego.- Solamente se envían aguas de purgas de enfriamiento y del sistema del destilador – condensador.

Por otro lado, desde 1981, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), otorgó permiso para descargar las aguas residuales al Río Florido, y no

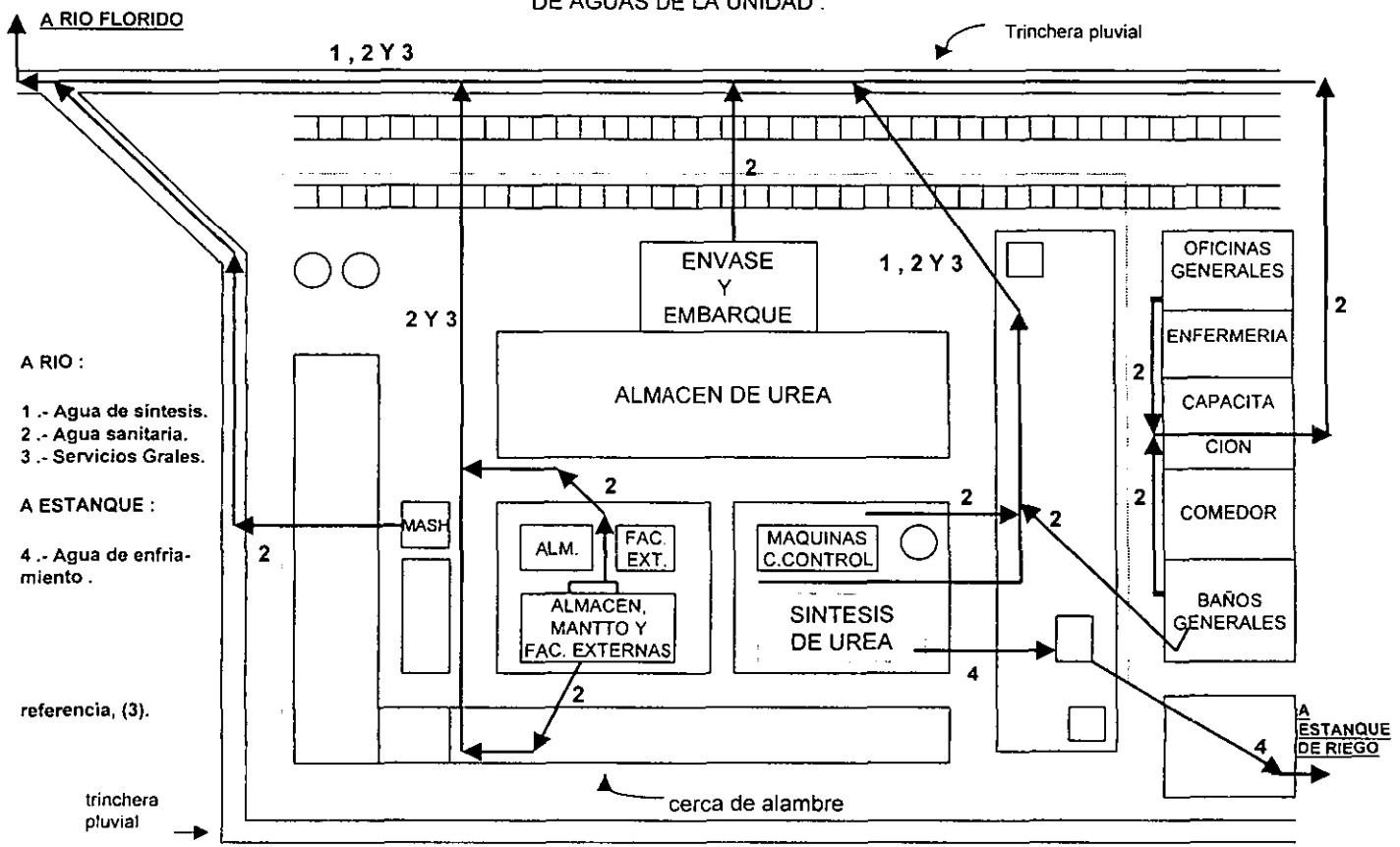
fue que hasta 1997, se solicitan, pero ahora con CONAGUA, para las descargas tanto al Río como al Estanque de Riego.

En base a los derechos otorgados por la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1997) de la CONAGUA, en su Artículo 278, la Unidad opta por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por esta Ley y no por las condiciones particulares de descarga.

Las dos descargas quedan consideradas como cuerpos receptores tipo "A". Esta Ley está derivada de la NOM – 001 – ECOL –1996.

A continuación se presentan un croquis general de las dos descargas, así como de las especificaciones de control establecidas por SARH en el '81 y CONAGUA en el '97; también, los resultados promedio de análisis de aguas residuales de la Unidad obtenidos por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Chihuahua; el Laboratorio KAMPE de la Cd. de México y el Laboratorio de la Unidad Camargo:

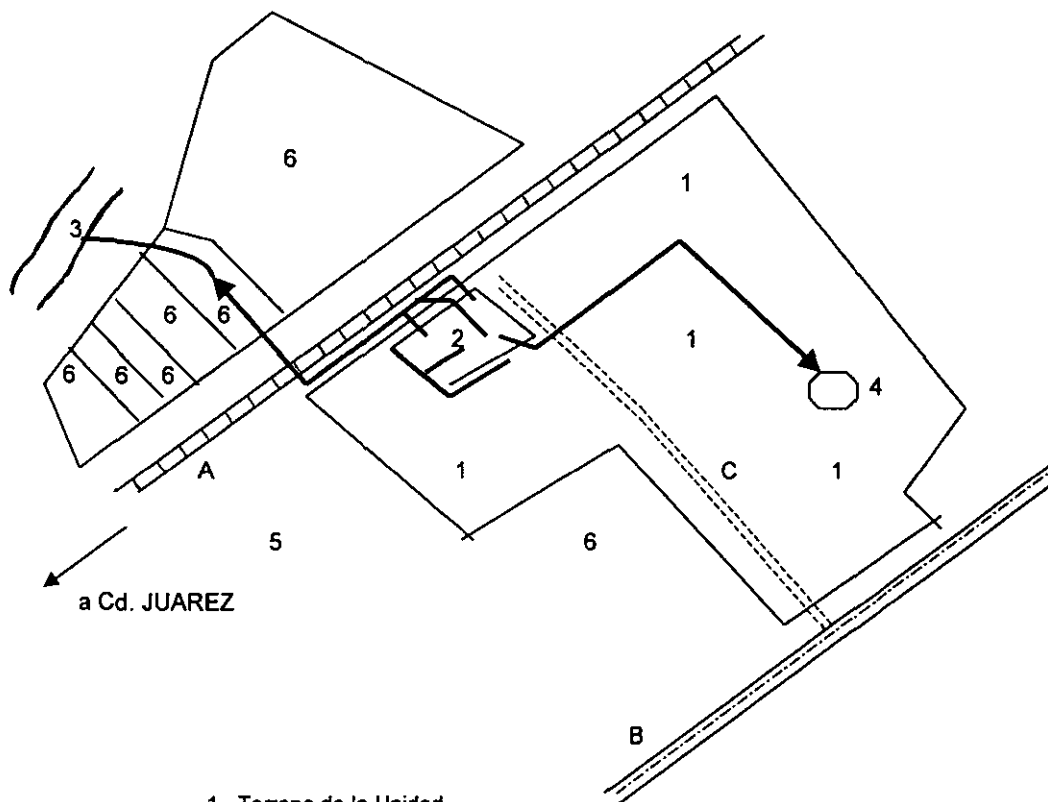
GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
 UNIDAD CAMARGO
 PLANO DE DISTRIBUCION DE DESCARGAS
 DE AGUAS DE LA UNIDAD .



- A RIO :**
- 1.- Agua de síntesis.
 - 2.- Agua sanitaria.
 - 3.- Servicios Grales.
- A ESTANQUE :**
- 4.- Agua de enfriamiento .
- referencia, (3).

39

**GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. de C.V.
UNIDAD CAMARGO
DISTRIBUCION DE LAS DESCARGAS DE AGUAS
RESIDUALES CON RESPECTO AL PLANO GENERAL
DE LA UNIDAD.**

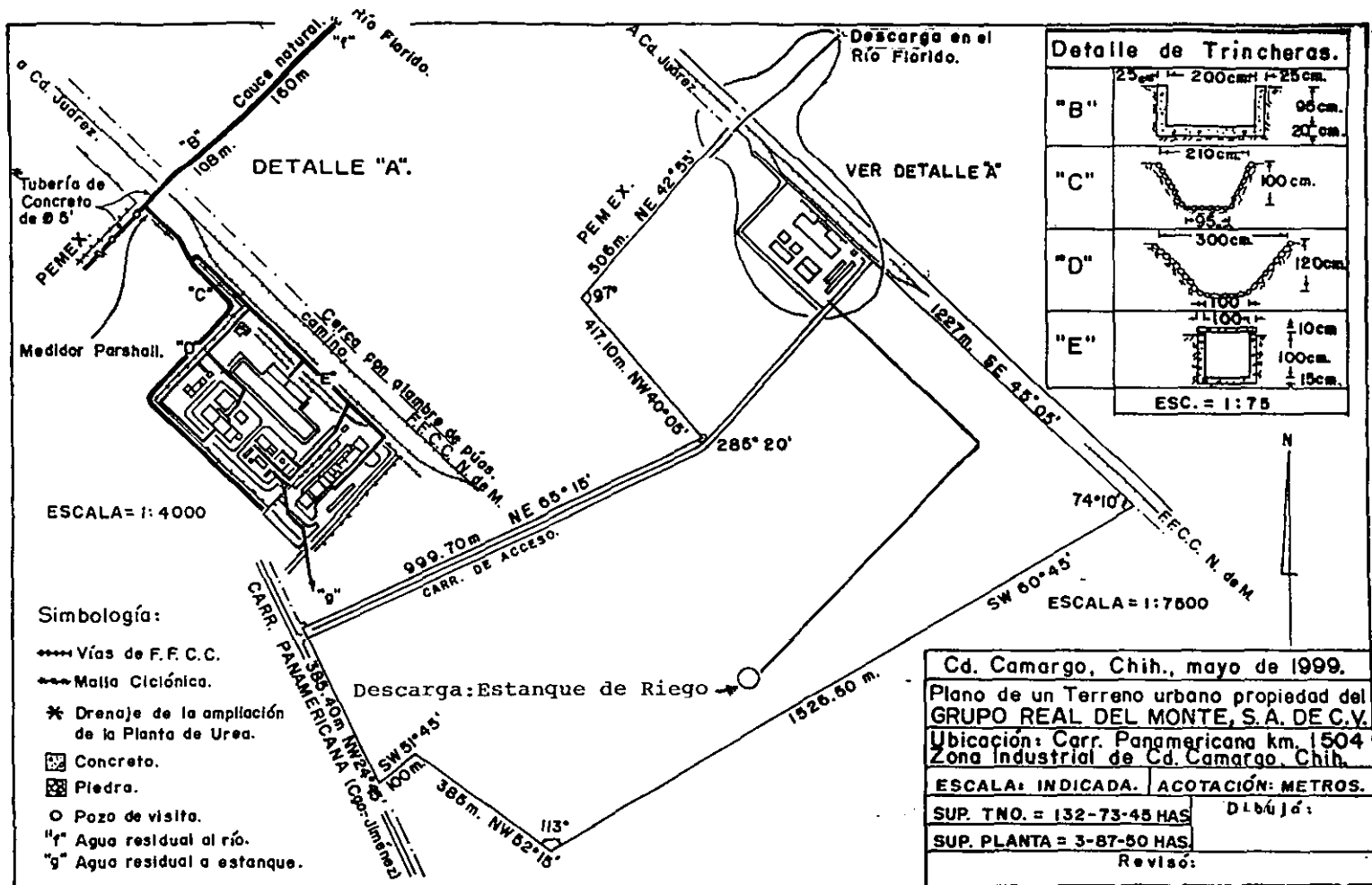


a Cd. JUAREZ

- 1.- Terreno de la Unidad.
- 2.- Planta de urea.
- 3.- Descarga de aguas residuales al Río Florido.
- 4.- Descarga de aguas residuales al Estanque de Riego.
- 5.- PEMEX.
- 6.- Terrenos particulares.
- A) Vía del ferrocarril.
- B) Carretera Panamericana.
- C) Entronque de acceso a la Unidad Industrial Camargo.

(plano sin escala).

Referencia, (3).



PARAMETRO	SARH ' 81	CONAGUA 1997	CUERPO RECEPTOR	
	MUESTRA	NOM-001-ECOL-1996	RIO	ESTANQUE
	INDIVIDUAL		FLORIDO	DE RIEGO
Grasas y aceites	15 mg / l	15	40	10
Boro	2 mg / l	-	0.8	6.8
Cadmio	0.085 mg / l	0.2	0.01	0.03
Sólidos sedimentables	1.0 ml / l	-	0.0025	0.0
Conductividad	2000 µmhos/cm	-	15000	10000
RAS	6.0	-	30	17
Color	100 unidades	-	10	18
Temperatura	35 ° C	-	10	63
pH	6 – 9	5 – 10	9.1	7.8
Materia flotante	ninguna	-	ninguna	ninguna
Coliformes totales	20000	-	15000	0.0
Nitrógeno orgánico	1 mg / l	-	400	0.0
SST	-	150 mg / l	400	5.0
DQO	-	300 mg/l	200	80
Nitrógeno total	-	40 mg/l	2500	25
Fósforo total	-	20 mg/l	3	2.5
Arsénico	-	0.2 mg/l	n.d.	n.d.
Cianuros	-	2.0 mg/l	n.d.	n.d.
Cobre	-	4.0 mg/l	0.01	0.03
Cromo	-	1.0 mg/l	n.d.	n.d.
Mercurio	-	0.01 mg/l	n.d.	n.d.
Níquel	-	2.0 mg/l	0.02	0.08
Plomo	-	0.5 mg/l	0.11	0.14
Zinc	-	10.0 mg/l	0.12	0.98
Coliformes fecales	-	1000	1000	0.0
Huevos de Helminto	-	1 huevo / l	0	0
DBO	-	150 mg / l	90	30

Referencias, (3, 5 y 6).

CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES SEÑALADOS EN LAS AGUAS RESIDUALES

Cualquier industria, requiere de la disposición de sus desechos, ya sean sólidos, líquidos y/o gaseosos, pudiendo crear con ésto, situaciones adversas y perjudiciales en el cuerpo receptor, por la descarga de estos nuevos elementos al ecosistema que modifican su composición original. Esta disposición de los desechos industriales queda contemplada dentro de lo que se define como aguas residuales.

Recalcando, esta nueva situación (contaminación) que altera el agua, perturba tanto el medio en el que se desenvuelve el hombre (doméstica, agrícola o industrial), como a la vida acuática – ocasionándole que algunas especies proliferen y otras desaparezcan -, flora y al mismo suelo.

Los principales contaminantes cotidianos provienen de la materia orgánica, los productos químicos (entre ellos, los biocidas), los fertilizantes, los detergentes, los metales pesados, etc.

Los contaminantes se clasifican en:

- a).- Causantes de la enfermedades (salud).
- b).- Conservativos, no se degradan por los procesos biológicos normales.
- c).- No conservativos, cambian sus características debido a las fuerzas químicas físicas y biológicas; a su vez se dividen en:
 - + Agentes infecciosos, (a).
 - + Residuos que demandan oxígeno, (b y c).

- + Nutrientes de plantas, (b).
- + Compuestos químicos orgánicos, (c).
- + Compuestos inorgánicos y minerales, (b).
- + Sedimentos, (a, b, y c).
- + Materiales radioactivos, (b).
- + Calor, (c).

Estas 8 categorías están incluidas dentro de las clasificaciones definidas en la Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996, sobre el tipo de contaminantes del agua residual:

a) "Contaminantes básicos.- Compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, temperatura y pH".

b) "Contaminantes patógenos y parasitarios.- Aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásito que pueden estar presentes y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna: coliformes fecales y los huevos de helminto".

c) "Metales pesados y cianuros.- Aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros".

Los ejemplos de estos contaminantes, en general, serían:

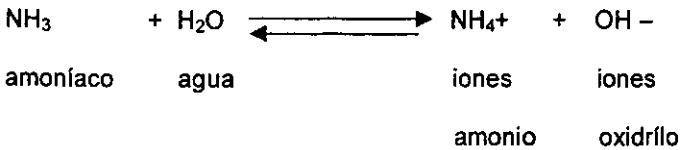
Microorganismos biológicos, (causan diversas enfermedades); nitritos y nitratos, (produce la metahemoglobinemia); fluoruros, (ocasionan la fluorosis y

osteoflorosis); arsénico, (causa la intoxicación endémica, cáncer); mercurio, (causa alta toxicidad); plomo, (es responsable del saturnismo); cadmio,(tóxico y ocasiona efectos cardiovasculares adversos); dureza del agua, (da lugar a enfermedades cardiovasculares e hipertensión); plaguicidas organoclorados, (tóxicos agudos); plaguicidas organofosfatados, (muy tóxicos al hombre y fauna marina); detergentes, (interfieren con la autopurificación del agua y el tratamiento natural); grasas y aceites, (interfieren con la actividad biológica de las aguas superficiales);etc.

CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES POR NITRÓGENO

Los compuestos orgánicos e inorgánicos de nitrógeno pueden tener efectos sobre:

+ El amoníaco en disolución acuosa (como iones amonio, NH_4^+) es tóxico para la fauna acuática, aún en pequeñas concentraciones:

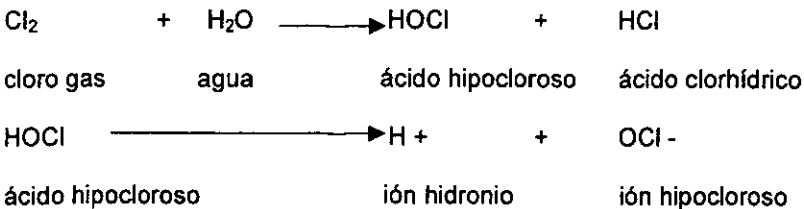


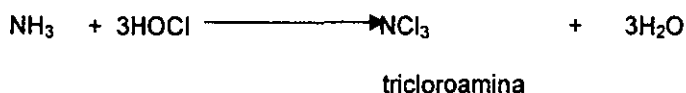
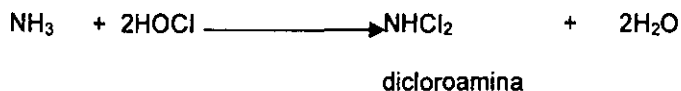
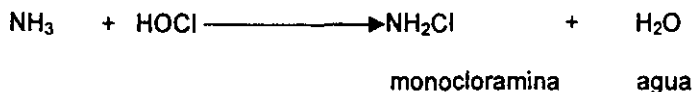
Los rangos dañinos de amoníaco en el agua dependen del pH, la temperatura y el tipo de organismos presentes y pueden variar de 1 a 3 ppm (g/m^3).

De acuerdo a normatividades oficiales, y con respecto a nuestras descargas, es necesario la eliminación de estos compuestos nitrogenados, para cumplir con dichas especificaciones.

+ También, el amoníaco afecta al proceso de tratamiento del agua para eliminar la materia orgánica, como sería la cloración:

Siendo ésta un proceso desinfectante, el cloro reacciona con el amoníaco para formar cloroaminas, existiendo el inconveniente de que son menos efectivas como desinfectantes que el propio cloro, pero con la ventaja de que reduce el olor del amoníaco y a su vez enmascara su contenido y agresividad:





Se da el caso que para querer producir una tasa letal para atacar a una X bacteria, se requiere 40 veces más de monocloroamina que cloro libre.

Por otro lado, las cloroaminas producen olores y sabores desagradables si no se lleva a cabo un buen control del proceso en general.

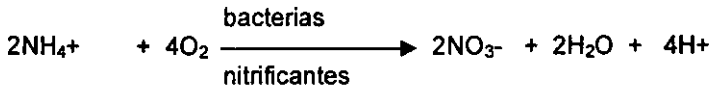
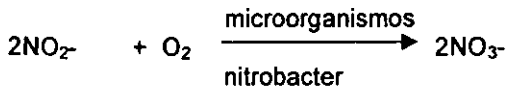
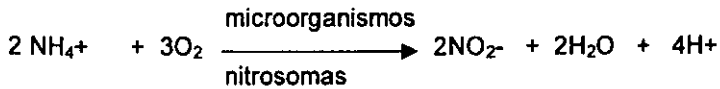
+ Los compuestos nitrogenados exigen una demanda de oxígeno muy alta, pues se requiere más de 4.5 veces su relación de peso para su completa oxidación:



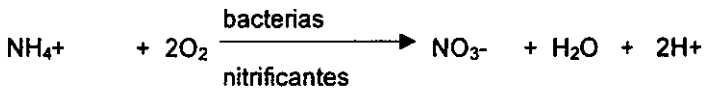
$$\frac{2\text{O}_2}{\text{N}} = \frac{64}{14} = 4.57$$

{este proceso es comúnmente llamado nitrificación: el N – NH₄⁺ se oxida a nitrito, (N-NO₂⁻) y después a nitrato (N-NO₃⁻)};

Las reacciones básicas se pueden representar de la siguiente manera:



o



La demanda de oxígeno disuelto causa un efecto perjudicial sobre el medio ambiente, flora y fauna.

+ Eutroficación.-

Crecimiento orgánico – generalmente de algas – estimulado por nutrientes inorgánicos, ricos en fósforo y nitrógeno, produciendo un aspecto antiestético de color verdáceo.

Siendo la eutroficación un proceso natural de envejecimiento de cuencas, la contaminación la acelera y acorta considerablemente la vida del cuerpo receptor, pudiéndose dar el caso de que se forme un terreno firme en lo que de inicio fue un lago.

Se tiene el siguiente caso: en un lago se encontró una relación de “carbón: nitrógeno: fósforo” en el material del planctón de 41: 7: 1 por peso y existe un camino crítico que determina el envejecimiento:

1.- Las algas toman y almacenan fósforo y nitrógeno del agua residual.

- 2.- Al morir, las algas se asientan en el fondo de las cuencas.
- 3.- Los depósitos sépticos del fondo, desprenden nuevamente fósforo y nitrógeno a las aguas.
- 4.- La inversión primaveral arrastra fósforo y nitrógeno hacia la superficie, promoviendo el crecimiento de nuevas cuentas de algas.

CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES POR GRASAS Y ACEITES

Las grasas y aceites son sustancias orgánicas (hidrocarburos, ceras, aceites, etc.), que son extraídos de las aguas residuales por medio de n-hexano (método soxhlet).

Los glicéridos de los ácidos grasos que son líquidos a temperatura ambiente se llaman aceites; los que son sólidos, grasas.

Las grasas y aceites industriales provienen de los aceites lubricantes, diesel, petróleo, aceites comestibles, grasas lubricantes, etc., flotan en las aguas residuales (algunos forman los sólidos sedimentables) y tienden a cubrir la superficie del agua interfiriendo en la acción biológica, crean materiales flotantes y forman una película dañina en el suelo agrícola y a la vida acuática, causando además un aspecto desagradable. Ya sea libre o emulsionado, el aceite y la espuma son resistentes a la oxidación, y además impiden la oxidación de otras materias.

CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES POR COLIFORMES

Debido a las exoneraciones intestinales, una persona desecha organismos coliformes (bacterias) además de otro tipo de microorganismos (M.O.). Los coliformes siendo no perjudiciales, sirven para la degradación de la materia orgánica. Hay bacterias en los cuerpos de todos los organismos vivos, teniendo funciones muy útiles y necesarias. Las bacterias se encuentran en todo el medio ambiente: en el suelo; en el polvo, suspendidas en el aire; en el agua, como resultado de la lluvia y debido al paso del agua a través y sobre el suelo.

Desde la perspectiva humana del uso y consumo, los principales organismos biológicos en el agua son los patógenos, que son aquellos organismos capaces de infectar o transmitir enfermedades a los humanos, tales como la tifoidea, disentería, diarrea, cólera, paratifoidea, gastroenteritis, parálisis infantil, hepatitis infecciosa, parasitosis, esquistosomiasis, etc. Estos organismos no son nativos de los sistemas acuáticos y generalmente requieren de algún animal huésped para su crecimiento y reproducción. Ellos pueden, sin embargo, ser transportados por los sistemas de aguas naturales, convirtiéndose de manera temporal en miembros de la comunidad acuática. Muchas especies de patógenos son capaces de sobrevivir en el agua y mantener su capacidad infecciosa por largos períodos de tiempo. Estos patógenos propagados por el agua incluyen especies de bacterias, virus, protozoarios y helmintos. La presencia de estos M.O. patógenos en el agua origina una contaminación y la hace inadecuada para su consumo humano. Al tomarse

este tipo de aguas, hace que la persona inmediatamente adquiera cualquier enfermedad citada, aunque en algunos casos se detecte días después.

El hecho de que se analicen los coliformes en las aguas residuales, se debe a que son fácilmente detectables y cuantificables, en comparación con los patógenos que son de cuenta pequeña y difícilmente rastreables. La cuenta de coliformes sirve como indicador de los patógenos. Se determinan coliformes fecales y totales.

(El análisis del agua para todos los patógenos conocidos puede ser costoso y llevarse mucho tiempo, por lo que generalmente se realizan pruebas para patógenos específicos, cuando se tiene la sospecha de que ese o esos organismos en particular pueden estar presentes. En el caso de revisión de aguas, se realizará por organismos indicadores. Un organismo indicador es aquel cuya presencia presume que ha ocurrido una contaminación y sugiere la naturaleza y grado de contaminante. Un patógeno indicador ideal debe tener ciertas características:

- Que sea aplicable a todos tipos de aguas.
- Que siempre esté presente cuando los patógenos estén presentes.
- Que siempre esté ausente cuando los patógenos estén ausentes.
- Prestarse a procedimientos de pruebas o exámenes rutinarios para su cuantificación sin que haya interferencia o confusión en los resultados por la presencia de organismos extraños.
- Por la seguridad del personal del laboratorio, que no sean patógenos.

Un agua segura y satisfactoria es la que esta libre, o casi, de bacterias patógenas. Si menos de una bacteria coliforme por cada 100 mililitros de agua residual indica que la contaminación es pequeña, representando un riesgo mínimo.

CONTAMINACION DE AGUAS RESIDUALES POR SÓLIDOS

Los sólidos en suspensión constituyen una parte importante de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de los efluentes de aguas residuales; aumentan los problemas de sedimentación y putrefacción y contribuyen a la erosión de superficies metálicas. Su determinación es como una guía para controlar la operación satisfactoria de los procesos de la planta.

Sólidos totales.- Materia que queda como residuo después de evaporar y secar una muestra de agua a 103-105°C.

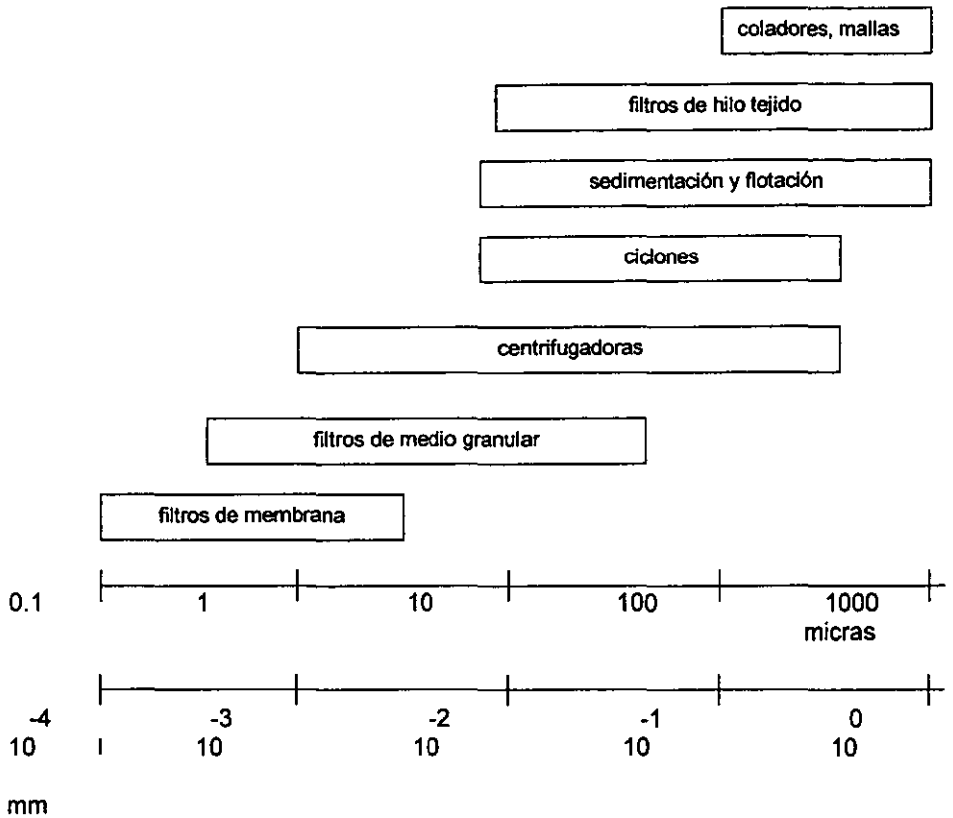
Los sólidos totales se dividen en suspendidos o filtrables.

Los sólidos suspendidos, son aquellos materiales visibles que contiene el agua, que al tiempo del muestreo no esta disuelto y que puede eliminarse por filtración.

Los sólidos suspendidos se separan del agua mediante sedimentación, colado, flotación y filtración y coagulación. Son capturados por filtración sobre lana de vidrio o membrana filtradora de 0.45 micras. Para sólidos muy grandes o pesados se eliminan por enrejado o colador; para sólidos finos por sedimentación y filtración.

Incluyen la fracción que se asentará en el fondo de un cono Imhoff y los sólidos sedimentables en un período de 60 minutos. Estos sólidos son una estimación de la cantidad de lodos que se podría remover por medio de la sedimentación.

En la tabla siguiente, se muestra la relación de dimensiones de las partículas con sistemas de remoción:

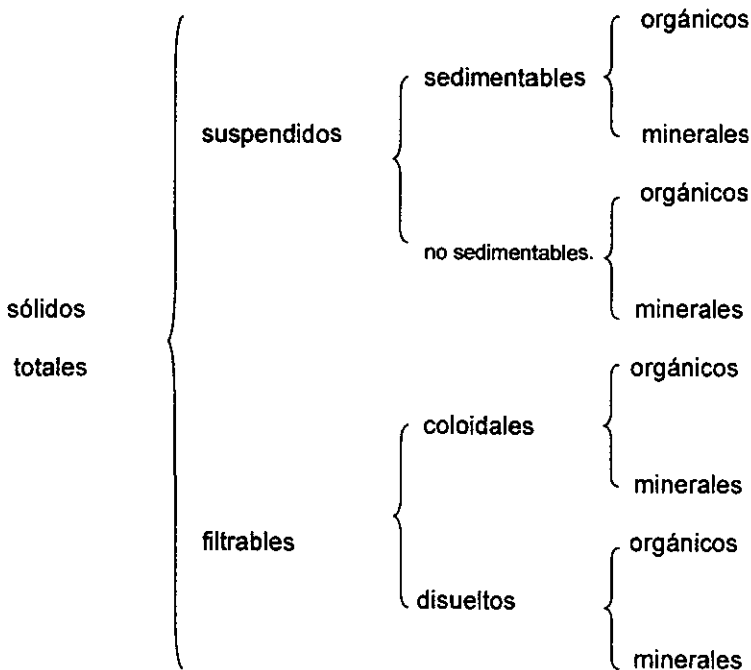
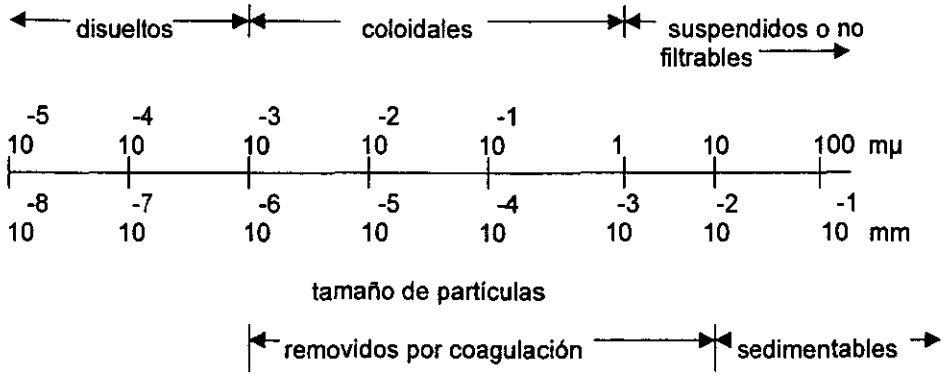


Dimensiones de la partícula.

Los sólidos filtrables se dividen en coloidales (con diámetro entre 1 milimicra a 1micra) y disueltos (presentes en solución acuosa).

Cada categoría de sólidos puede clasificarse a su vez como volátiles (la fracción orgánica se evapora a 600°C en forma de gas) y fijos (la fracción inorgánica permanecerá en forma de cenizas a 600°C).

Clasificación y ámbito de tamaño de las partículas en el agua:



FUENTES DE RESIDUOS CONTAMINANTES EN LA UNIDAD CAMARGO

De acuerdo a los análisis de aguas residuales que se practican en la Unidad, y en base a la NOM -001 -ECOL -1996, se pueden hacer los siguientes señalamientos:

A) Para el Río Florido:

1.- El parámetro más significativo, por la magnitud de su concentración media, es el nitrógeno total por el procedimiento Kjeldhal (NTK), el cual incluye todas las formas reducidas de nitrógeno (amoniacal, orgánico y de nitritos), rebasando en dos ordenes de magnitud el límite establecido para descargas a cuerpos receptores naturales cuyas aguas se dedican a fines agropecuarios. Normalmente, las altas concentraciones de NTK causan la eutricación de los cuerpos receptores, propiciando la proliferación de malezas acuáticas que rompen el equilibrio de los ecosistemas existentes; por otro lado, al ser ingerido el NTK, resulta tóxico a un gran número de especies incluyendo animales silvestres, ganado y al propio hombre.

2.- Otro parámetro que rebasa los límites generales establecidos para dichas descargas, es la relación de absorción de sodio (RAS), el cual relaciona las concentraciones de iones de calcio, magnesio y sodio.

Si se incide el valor del RAS = 30 con el de su conductividad (15000), (de la tabla de resultados del tema 10), vemos que se produce un agua de riego del tipo de (C4-S4), (según el diagrama para la clasificación de las aguas para riego, referido en el tema de "CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA LA AGRICULTURA"), que es un indicador de un agua muy salina (C4) y muy abundante en sodio (S4), no

propicia para riego en general. La única salvedad, en este caso, sería, usar cultivos altamente tolerables a sales:

3.- Los valores relativamente bajos de DQO, señala la presencia de poca materia orgánica carbonácea y de compuestos oxidables químicamente.

4.- La elevada conductividad eléctrica revelan altos contenidos de sólidos disueltos y que son dañinos para los campos agrícolas, (se hace referencia en el inciso 2).

5.- El pH es relativamente alto, propiciando que el nitrógeno amoniacal tienda a presentarse en forma molecular (como gas atrapado), más que como ión.

6.- Los 30,000 NMP/100 ml de coliformes totales advierten la presencia de aguas sanitarias, las cuales son fuentes posibles de problemas epidérmicas. No se recomiendan para cultivos a ras del suelo. Son propicias como fuentes alimenticias en procesos biológicos.

7.- La presencia de grasas y aceites, la hace un agua de peligro tanto para la flora y la fauna, como para el terreno donde se deposite, pues lo volverá muy impermeable.

B) Para el Estanque de Riego:

Los parámetros que sobresalen, de forma alarmante, son el mismo flujo de 15-20 metros cúbicos por hora (no referido en la tabla de resultados del tema 10) y el alto contenido de conductividad, RAS y temperatura, propiciando un agua no adecuada para la agricultura, por su salinidad en los suelos irrigados.

ORIGEN DE CADA UNO DE LOS PARAMETROS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD INDUSTRIAL CAMARGO

1.- Contenido de nitrógeno.-

En la Unidad se pueden detectar y determinar 3 tipos de nitrógenos:

N-amoniacal,

N-orgánico, y

N-total.

Las fuentes de estos en las aguas residuales son el resultado de derrames, lavados y fugas de amoníaco, urea (de proceso y producto terminado), carbamato de amonio, aguas sanitarias y aguas de comedores.

Actualmente se esta realizando una campaña para minimizar la contribución de nitrógeno total en las aguas residuales que es del orden de las 1500-3000 ppm a niveles de las 500-800 ppm y seguir trabajando para que estos valores bajen aun más. Lo anterior es con el fin de optimizar los costos del proceso y de contaminación.

Se debe tomar en cuenta que, sin embargo, las concentraciones que sean tan bajas y que resulte no económico o impráctico recuperar los materiales de proceso arriba citados por operaciones químicas normales, pueden ser todavía altas para cuestiones de contaminación.

2.- Grasas y aceites.-

a) En la descarga a Río, las fuentes de este parámetro contaminante son las fugas y escurrimientos de los equipos tales como: cárters de bombas, compresores de

CO₂, bombas centrifugas, etc.; el aceite que acompaña a las materias primas amoníaco y bióxido de carbono y; los productos de desecho de los comedores.

Durante años, la descarga registraba valores de 150-200 mg/l del parámetro "grasas y aceites", pero en 1996-1997, se llevaron a cabo, trabajos, tanto de concientización, como de proyectos (recolección neumática y recuperación de aceites de desecho) para que los rangos anteriores se bajasen a 50-80 ppm y se espera que al final de este programa el nivel esté alrededor 20-30 mg/l.

b) Descarga a Estanque de Riego.-

En el sistema del destilador-condensador de condensado - instalado en la Unidad con el propósito de recuperar todo el vapor usado que anteriormente se tiraba a la atmósfera -, se usa como medio antincrustante el arbusto guamis o gobernadora.

Según estudios realizados en la Universidad de Saltillo, aquella produce una goma vegetal que puede ser detectada como "grasas y aceites" bajo el procedimiento del soxhlet.

3.- Coliformes fecales y totales.-

Se tienen 6 centros sanitarios conformados por sus respectivas fosas sépticas como único medio para dar tratamiento (primario y secundario) a las aguas sanitarias. Se sabe que la eficiencia de remoción estos equipos es del orden del 15%.

De las fosas, estas aguas se mezclan con las de síntesis y servicios generales, para que el total se envíe al Río.

Cada 6 meses se lavan estas fosas y se ha observado al principio de operación el nivel de NMP/100 ml es de alrededor 300 para coliformes fecales y de 5,000-

10,000 para totales; cuando los tanques se saturan, estos pasan a 1000 y 30,000 respectivamente.

4.- Sólidos totales suspendidos.-

Son el producto de arrastres de diversos materiales sólidos y de los mismos problemas de síntesis (urea, carbamato de amonio, grasas y aceites y polvos ambientales), por lo que, al atacar los otros problemas, este también se reduce.

5.- El agua de suministro (pozo), para las operaciones, trae consigo un alto valor de dureza total (450 ppm), sulfatos (1500 ppm), conductividad (3800-4000 micromhos/cm),etc., y al ser usada en los sistemas de enfriamiento, en apenas 2 ciclos de concentración, el agua se purga con una elevada concentración de sales minerales.

OTROS CONTAMINANTES

A) Ácidos.- Desperdicios ácidos pueden causar la precipitación o coagulación de otras sustancias, produciendo de esta manera gran turbidez o depósitos de cieno. Una excesiva acidez inhibe el desarrollo de los procesos biológicos, y además, soluciones con un pH de 6 o menos, pueden causar deterioro del equipo por corrosión.

B) Alcalinos.- Soluciones muy alcalinas son antisépticas e inhiben el tratamiento de las aguas cloacales sanitarias, además de la purificación natural que suele tener lugar en las corrientes. Los peces suelen morir.

C) Metales.- Los metales pesados, tales como el cobre y el cromo, cuando no pueden ser recuperados, son sustancias tóxicas y venenos acumulativos. Disminuyen las etapas de nitrificación y digestión durante el tratamiento de aguas sanitarias. Acaban con la vida acuática.

D) Salmueras.- Son nocivas para la agricultura, a las aguas de abastecimiento y a la vida acuática.

E) Detergentes.- Son agentes dispersantes que retardan o impiden el curso normal del tratamiento de las aguas de desecho. Poseen un alto DBO, retardan la sedimentación y causan la formación de espumas.

CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA LA AGRICULTURA

Esta calidad está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga dicha agua (residual) y serviría para riego, ganado, equipos y maquinaria, etc.:

I) PARA LA IRRIGACIÓN, LAS CARACTERÍSTICAS A DETERMINAR SON:

- 1.- La concentración total de sales solubles (sólidos disueltos totales, ésto es, conductividad eléctrica).
- 2.- La concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes (relación de adsorción de sodio, RAS).

Los efectos de la concentración de la salinidad sobre las plantas, se visualiza, principalmente, porque al evaporarse el agua de las hojas, la presión osmótica causa que el agua fluya de las zonas adyacentes de la raíz a ésta, dejando una agua muy concentrada en dichas zonas. Si la salinidad es muy alta, puede ocasionar que la planta se deshidrate, debido a que el flujo de la presión osmótica se invirtió.

Hay indicadores que señalan cuando un agua es muy salina:

- + El empleo de agua con una conductividad eléctrica mayor a 2500 micromhos/cm es perjudicial a las plantas.
- + El límite de la relación de adsorción de sodio (RAS), debe ser máximo de 18 para ciertos cultivos altamente tolerantes.

+ Cuando hay exceso de los anteriores, los suelos son poco permeables y de difícil manejo, por lo que es necesario un buen manejo de la tierra y un drenaje mejor, para lograr buenos lavados de la misma.

3.- La concentración de boro u otros elementos tóxicos.

El boro es esencial para el crecimiento de las plantas y se encuentra en la mayoría de las aguas naturales. En exceso, arriba de 1 ppm, el boro es muy tóxico.

4.- Bajo ciertas condiciones, sobre todo el contenido de amoníaco, la concentración de bicarbonatos con relación a la de calcio y magnesio, debe cuidarse, para evitar su precipitación.

Al existir la reacción de precipitación en forma de carbonatos, las concentraciones de iones calcio y magnesio se van reduciendo, logrando con esto, el aumento de la presencia de sodio.

CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO.

Al clasificar las aguas para riego, se tomaron en cuenta factores tales como textura del suelo, velocidad de infiltración, capacidad de drenaje, volumen de agua, clima y la tolerancia de los cultivos a las sales. Se tiene la siguiente clasificación:

+ Peligro de salinidad (bajo, C1; medio, C2; alto, C3; muy alto, C4).

+ Peligro de sodio (bajo, S1; medio, S2; alto, S3; muy alto, S4).

+ Con estos factores se elaboró un diagrama para la clasificación de aguas de riego, en el cual se interaccionan los dos peligros, en todos sus niveles, obteniéndose un peligro combinado que va desde el C1-S1 hasta el C4-S4, de acuerdo a los individuales:

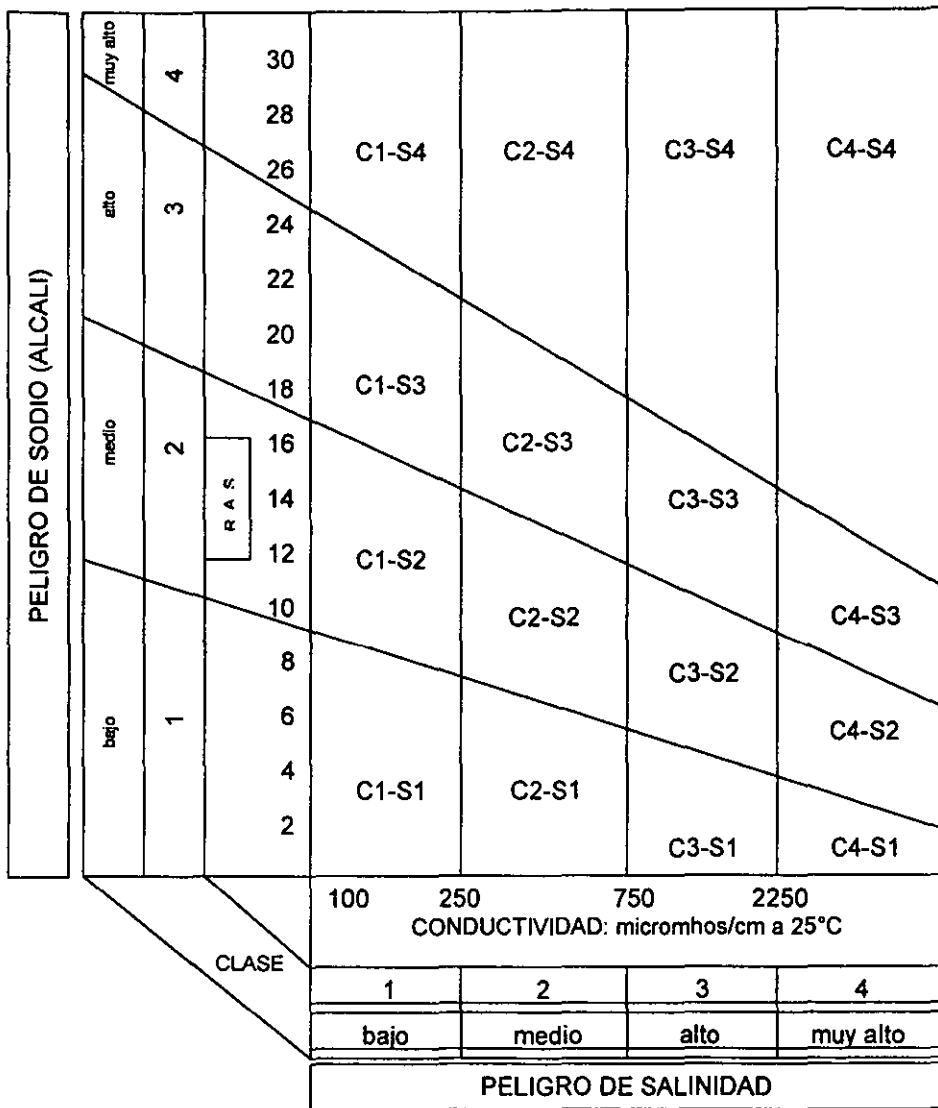


DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO, (16).

(sin escala)

referencia, (17).

Las características de los suelos salinos y sódicos son:

- ✓ Superficie acostrada y agrietada.
- ✓ Crecimiento irregular de las plantas.
- ✓ Apariencia de cristales de sal o de una capa de sal.
- ✓ El pH de suelos salinos es de hasta 8.5 y de los sódicos mayor que 8.5.

+ Efecto del boro.-

Partiendo de que el efecto del boro va desde un nivel mínimo benéfico hasta un máximo perjudicial dependiendo de los cultivos, se elaboró una relación de clase de agua por la presencia de boro que va desde el 1 hasta el 5 para cultivos sensibles, semitolerantes, hasta tolerantes, dependiendo de la concentración del boro desde menor a 0.33 hasta mayor a 3.75 ppm, (9 y 17):

clase por boro	cultivos sensibles (ppm)	cultivos semitolerantes (ppm)	cultivos tolerantes (ppm)
1	menor que 0.33	menor que 0.67	menor que 1.00
2	0.33 a 0.67	0.67 a 1.33	1.00 a 2.00
3	0.67 a 1.00	1.33 a 2.00	2.00 a 3.00
4	1.00 a 1.25	2.00 a 2.50	3.00 a 3.75
5	mayor que 1.25	mayor que 2.50	mayor que 3.75

+ Efecto de los bicarbonatos.-

Aguas con más de 2.5 meq/l de carbonato de sodio residual no son aptas para riego; de 1.25 a 2.5 son dudosas y; menos de 1.25 son aptas.

A continuación se enlistan dos tablas de tolerancias de cultivos a la salinidad y al boro:

a) Para la salinidad:

alta tolerancia (10,000-16,000 micromhos/cm)	tolerancia moderada (4,000-10,000 micromhos/cm)	poca tolerancia (4,000 micromhos/cm)
cebada, betabel, algodón, espinaca, palma datilera, zacate bermuda, zacate Rhodes, etc.	alfalfa, centeno, trigo, avena, arroz, maíz, papa, zanahoria, higuera, olivo, viñedo, sorgo, tomate, col, cebolla, lechuga, etc.	apio, judías verdes, frijol de campo, limonero, manzano, peral, durazno, rábano, frijol, etc.

b) Para el boro:

alta tolerancia	tolerancia moderada	poca tolerancia
palma datilera, remolacha, col rosada, espárrago, espinaca, cebada, algodón, alfalfa, nabo, col, etc.	granada, higuera, olivo, vid, melón, jitomate, col, colifor, lechuga, papa, zanahoria, pepino, etc.	peral, manzano, naranjo, toronja, ciruela, limonero, aguacate, rábano, apio, ejotes, alubias, etc.

II) ABREVADEROS Y VIDA SILVESTRE

Se aplica para animales de granja y silvestres.

La concentración y carga de las sustancias fisicoquímicas indicarán los niveles permisibles de ingestión y los requerimientos diarios dependerán del tipo de animal, temperatura, humedad, el grado de excreción de cada parámetro, la salinidad de la fuente de abastecimiento, etc.

El uso del agua dependiendo de la concentración en ppm de los STD varía de menor de 1,000 para todo tipo de ganado y aves; de 1,000-3,000, para todo tipo de ganado y aves, pudiendo causar diarrea leve en el ganado; de 3,000-5,000, para ganado, (causando diarreas), pero no para aves (le puede causar desde inhibimiento de crecimiento hasta su muerte); 5,000-7,000, sólo para ganado del tipo vacas, borregos, puercos, caballos; 7,000-10,000, no aptas para aves, cerdos, riesgo para caballos, borregos, y para hembras preñadas; mayor de 10,000, inadecuada para cualquier animal.

También, para esta aplicación, se deben de tomar en cuenta los niveles de coliformes totales (5,000 NMP/100 ml), coliformes fecales (1000 NMP/100 ml), pH (7-9), metales pesados (como boro, cadmio), grasas y aceites (libre), etc.

INFORMACION GENERAL SOBRE LOS TRATAMIENTOS A USARSE EN EL CASO ESPECIFICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIDAD CAMARGO

1.- Según la situación particular de estas descargas, como pretratamiento se requiere de un cribado para eliminarle algunas basuras que se depositan en el agua, para luego separar totalmente los aceites lubricantes que aparecen productos de los derrames en las bombas de alimentaciones al reactor (amoníaco, carbamato de amonio y bióxido de carbono) y de alimentaciones de PEMEX (amoníaco y bióxido de carbono).

2.- Tratamiento primario.- Por las condiciones de las descargas, es necesario un sedimentador para eliminarle los lodos de urea y de carbamato, para después, neutralizar o acidular las aguas con ácido sulfúrico que proviene de los enjuagues de las unidades de tratamiento de aguas (por medio de resinas intercambiadoras de iones). La cloración podría ser una alternativa de tratamiento para reducir el contenido de amoníaco. Es importante la eliminación de coliformes por medio de una planta de tratamiento de aguas negras.

3.- Tratamiento secundario.- Los lodos activados (digestión anaerobia) y la filtración rápida son, en conjunto, una posibilidad de alternativa de tratamiento conjunto.

4.- La calidad del agua residual tratada proveniente del tratamiento secundario, es útil para verterla en el cuerpo receptor (cumpliendo con la normatividad oficial) y para uso en riego de jardines y para sistemas de enfriamiento (como sería el caso de la Unidad Camargo). Si quiere emplearse en este último (reuso en sistema de

enfriamiento), es necesario complementar el tratamiento secundario con el terciario para remover los contaminantes:

- + Contenido de nitrógeno.
- + Compuestos que causan color, olor y turbiedad.
- + Compuestos que causan demanda de oxígeno.
- + Sales inorgánicas.
- + Metales pesados.
- + Compuestos dañinos a la salud.
- + Organismos patógenos.

PROCESOS PARA LA ELIMINACION DE NITROGENO

A) Remoción biológica.- Consiste en la aereación (oxidación) de los compuestos orgánicos nitrogenados del agua residual a nitritos y después a nitratos en presencia de bacterias nitrificantes (nitrificación). Los nitratos se reducen a nitrógeno gas en condiciones anaerobias (desnitrificación).

B) Eliminación de amoníaco (desorción).- Se logra elevando o ajustando con cal el pH a un valor superior a 10, rango en que todo el nitrógeno está en forma de amoníaco, y después, agregar aire (a una relación de 3 aire/líquido) para disiparlo en la atmósfera. El costo se minimiza cuando la eliminación se realiza después de un proceso de coagulación con cal.

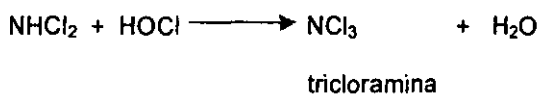
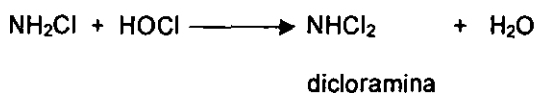
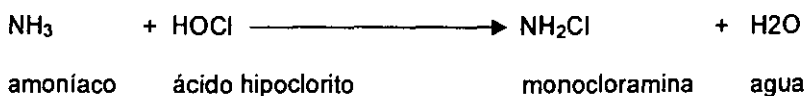
GRADOS DE REMOCIÓN DE AMONIACO SEGÚN EL pH:

pH	GRADO DE REMOCION
8.0	37%
8.6	41%
9.2	80%
9.7	93%
10.8	98%

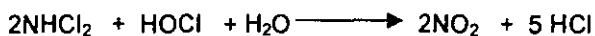
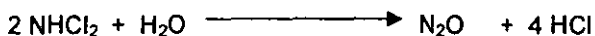
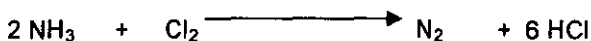
Los rendimientos de la desorción son más efectivos a temperaturas calientes que en frías. También se eliminan la DBO y los sólidos en suspensión.

C) Cloración al punto de quiebre.- Las aguas residuales que contienen amoníaco se le puede dosificar cloro (como ácido hipocloroso o hipoclorito de sodio) hasta un nivel tal que los compuestos nitrogenados reducidos se oxiden hasta formar nitrógeno gas:

Reacciones de formación:



Reacciones de descomposición:



El proceso de cloración tiene un rendimiento del 99%, y además, oxida la materia orgánica y desinfecta el agua. Sus desventajas: las cloraminas son tóxicas y el costo de la dosis de cloración puede ser alta.

Todos los procesos anunciados tienen costos elevados, pero en cambio, reducen los niveles de DBO, sólidos en suspensión, eliminación de virus y bacterias y eliminación de productos orgánicos volátiles.

D) Intercambio iónico.- Para la remoción se utiliza una resina de intercambio iónica (aniónica) selectiva llamada clinoptilolita. La resina se regenera con salmuera y se acondiciona mediante ácido y metanol. Al extraerse el amoníaco con ácido sulfúrico, se produce sulfato de amonio que es fertilizante.

REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

Los sólidos suspendidos forman parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), grasas y aceites, entre otros. Los sólidos suspendidos se eliminan por coagulación química, filtración y microtamizado.

Los niveles de eliminación son:

Microtamizado -----70–90%.

Filtración -----99% materiales de relleno más empleados:
antracita y tierra de diatomáceas.

Coagulación química -----67% con cloruro férrico.
65% con cal.
83% con sulfato de aluminio.
91% con cloruro férrico y cal.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Los procesos biológicos para tratamiento de las aguas residuales se basan en el hecho de que los contaminantes del agua sirven como nutrientes de una población de microorganismos, por un tiempo suficiente para permitir su descomposición y al final del proceso los primeros se degradan a compuestos simples. Los solutos se eliminan por descomposición: oxidación, metabolismo microbiano y conversión en materias microbianas celulares, siendo adsorbidos y aglomerados con las masas microbianas utilizadas. El grado de purificación dependerá del sistema de tratamiento que se use, su operación y las materias presentes en las aguas residuales.

Los procesos biológicos se utilizan en el tratamiento de aguas para reducir o estabilizar la carga orgánica, además de coagular y remover los sólidos coloidales y sedimentables.

(Los compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno; nitrógeno, azufre, fósforo y hierro; potasio, calcio y magnesio. Los compuestos principales serían las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, urea, detergentes, etc.).

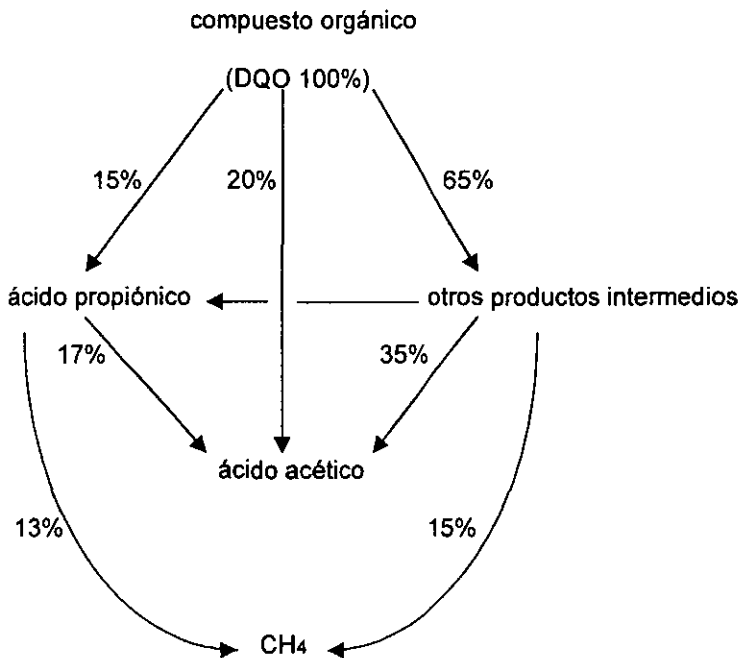
Estos procesos biológicos se dividen en tres categorías:

+ Aerobios.- Los microorganismos realizan su actividad microbiana en presencia de oxígeno disuelto, que es usado en las diversas reacciones metabólicas:

a) Oxidación.- En ésta, los microorganismos producen energía:

c) Producción de metano.- Los productos son fermentados en presencia de bacterias anaerobias a metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) que constituyen los productos finales de proceso.

La formación de metano a partir de un compuesto orgánico, se puede simplificar así:



Los requerimientos ambientales y operacionales del proceso anaerobio se deben de tomar en cuenta, ya que las bacterias son muy sensibles a cambios de condiciones de:

+ pH y alcalinidad.-

El rango de pH más adecuado es de 6.6 a 7.6 con un óptimo de 7.0 a 7.2. Se requiere una alcalinidad mayor de 1000 mg/l como CaCO_3 como amortiguamiento

de cambios de pH. Con esto se evitan que las bacterias metanogénicas sean afectadas y que los ácidos volátiles producidos no serán metabolizados, por otra parte, la digestión sería muy ineficiente.

+ Temperatura.-

Las bacterias metanogénicas tienen una temperatura óptima de 36°C. A otras temperaturas, el proceso es menos eficiente.

+ Relación carbono-nitrógeno, (C/N).-

Para el metabolismo, las bacterias anaerobias requieren de una relación de C/N de 30, siendo la fuente de energía C, H y O y los nutrientes N, P, S, Fe, etc.:

Arriba de 30, la estabilidad del sustrato será incompleta; abajo de 30, habrá formación de iones amonio (NH_4^+) causantes de toxicidad: En cualesquiera de los casos, se requiere suplir la respectiva deficiencia con desechos animales o domésticos que tienen una relación C/N baja (alto contenido de nitrógeno), o con desechos vegetales que tienen una C/N alta (alto contenido de carbono).

+ Sustancias tóxicas.

+ Tiempo de retención de sólidos (TRS).-

Los microorganismos anaerobios se reproducen con una rapidez de 3 a 5 días a 36°C con un óptimo de 4 días, lo que da un resultado de TRS de entre 10 y 25 días. El TRS impacta en la eficiencia del proceso para optimizar la conversión. La temperatura afecta al TRS.

+ Mezclado.-

Con la homogeneización del contenido se logran mejores condiciones del proceso: la alta concentración de materia orgánica en el influente se distribuye más

rápidamente, favoreciendo el contacto de los microorganismos y su fuente de energía que es la materia orgánica. Con el mezclado, se evita la acumulación de sólidos dentro del reactor.

+ Carga orgánica.

Como ejemplo de un proceso de tratamiento anaerobio para aguas residuales es el sistema o reactor de lecho fluidizado, del cual se puede anotar:

"es una combinación de sistemas de crecimiento adherido y de crecimiento de suspensión. Se forma una película de lama biológica sobre un medio sólido que sirve de soporte, consistente de partículas pequeñas para ser mantenidas en suspensión por medio del flujo ascendente del líquido bajo tratamiento. Con esto se elimina el peligro de bloqueo del lecho por la acumulación de lama sobre el medio sólido de soporte; la superficie específica de las pequeñas partículas de soporte sólido utilizadas es muy alta; se puede mantener una alta densidad de biomasa en contacto con las aguas residuales; la adherencia a las partículas de soporte elimina la limitación de lavado en un sistema de crecimiento en suspensión".

Este reactor tiene como ventajas de no requerir grandes extensiones de terreno; baja generación de lodos biológicos; bajos costos de operación y mantenimiento; así como generación importante de biogas utilizable como combustible para diversas actividades; la eficiencia de remoción de materia orgánica (DBO₅) está entre 70 y 85%; no requiere equipo de aereación, por lo tanto la operación y mantenimiento es sencilla; el costo por metro cúbico de agua tratada es semejante al de una laguna de estabilización, pero con una pequeña fracción de terreno que

aquella, por lo que no genera zonas insalubres aledañas, ni proliferación de fauna nociva; la generación de lodos biológicos, como subproducto del tratamiento, es apenas una tercera parte de los obtenidos como resultado de los procesos biológicos convencionales.

ESTADÍSTICAS INICIALES
DE LA EMPRESA

REMOCION DE SOLIDOS DISUELTOS

A) Intercambio iónico.- Proceso de intercambio reversible (eliminación) de iones no deseados en una solución (sólidos disueltos en aguas residuales o iones de calcio, magnesio, sulfatos, carbonato, etc.) y un medio sólido de intercambio, intercambiándolos equivalentemente por otros deseados ($H^+ + OH^-$) que están enlazados en su estructura molecular. Este proceso se lleva a cabo por resinas que tiene una estructura especial que le permite realizar dicho intercambio.

Las resinas son partículas sólidas a base de estireno y divinilbenceno y tienen un diámetro promedio de 0.5 mm.

Se pueden remover aniones o cationes según sea el tipo de la resina o zeolita: aniónica o catiónica.

Los intercambiadores de iones sólidos (resinas), deben tener las siguientes características:

- 1.- Contener sus propios iones de intercambio.
- 2.- Ser insolubles en agua.
- 3.- Tener suficiente espacio en su estructura (porosa) para permitir el libre flujo de intercambio.
- 4.- Tener suficiente capacidad de intercambio, de los equivalentes necesarios de los iones para mantener la electroneutralidad dentro de la fase sólida para un peso o volumen de intercambiador (equivalente gramo por metro cúbico de resina) y un requerimiento o consumo de regenerante apropiado (equivalente de regenerante por equivalente intercambiado).

5.- Equilibrio de intercambio iónico, que controla la distribución de los iones entre una fase acuosa y la fase de intercambio iónico.

6.- Sus series de afinidad o selectividad son:

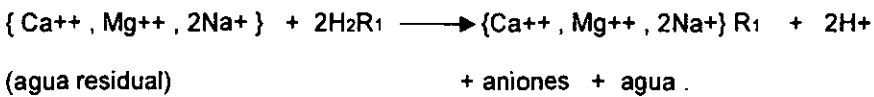
a) $\text{Li}^+ < \text{H}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ < \text{Rb}^+ < \text{Ag}^+$.

b) $\text{Mg}^{++} = \text{Zn}^{++} < \text{Cu}^{++} < \text{Co}^{++} < \text{Ca}^{++} < \text{Sr}^{++} < \text{Ba}^{++}$.

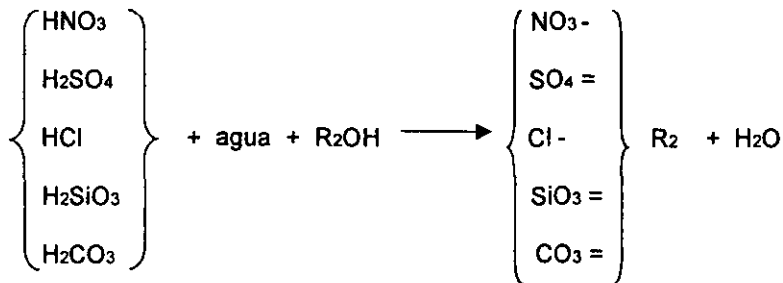
c) $\text{F}^- < \text{HCO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{NO}_3^- < \text{I}^- < \text{ClO}_4^-$.

El proceso de intercambio iónico, para el ciclo hidrógeno, en forma general, se lleva a cabo en dos etapas, en las cuales, el agua residual pasa primero por un intercambiador catiónico, y de este, a un aniónico:

Al entrar el agua al intercambiador catiónico, los iones positivos (cationes) del agua son intercambiados equivalentemente por iones hidrógeno, de forma que la corriente del producto es ácida:



El efluente del "catión", se envía al intercambiador aniónico "anión", en donde se removerán los aniones y se neutralizará la acidez:



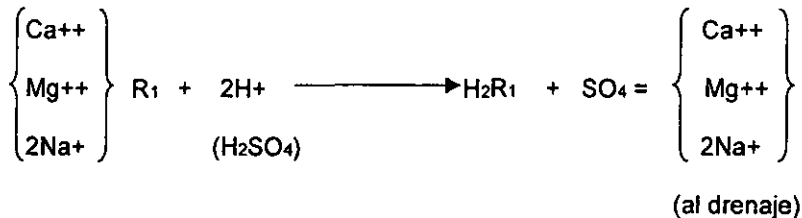
de donde:

R₁ = resina catiónica.

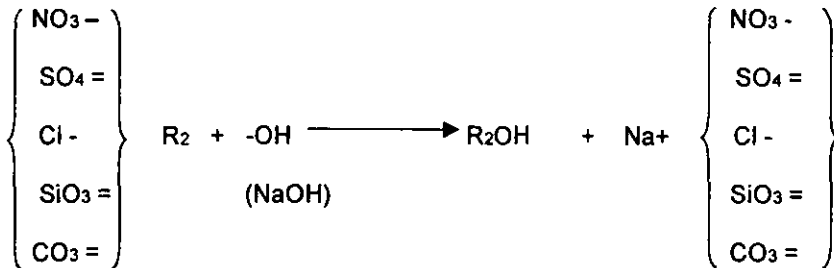
R₂ = resina aniónica.

Cuando la capacidad de intercambio de las resinas llegan a su límite, hay fuga de iones (el "catión" deja pasar los iones metálicos positivos y el "anión" a los iones negativos), es necesario regenerarlas con los productos químicos respectivos:

a) La resina "catiónica" se regenera con soluciones de 2-5%p de ácido clorhídrico o de ácido sulfúrico.



b) En el intercambiador aniónico, se removerán los aniones con una solución alcalina al 5-10%p de hidróxido de sodio:



El proceso de intercambio iónico se aplica mucho en el tratamiento de las aguas residuales, eliminando los problemas de origen de sales minerales inorgánicas, con las siguientes limitaciones: no remueven los materiales orgánicos no electrólitos, además, éstos, los sólidos sedimentables y el hierro libre, deben ser eliminados

antes de la llegada a los intercambiadores, pues pueden obstruir la porosidad de la resina, y por ende, la capacidad de intercambio, bajando su rendimiento.

Debido a que el efluente final de las aguas residuales tratadas por este proceso, es de buena calidad referente a sales minerales inorgánicas (dureza cero y un mínimo de sólidos disueltos), y según la situación lo amerite, se recomienda la partición de flujos, o bien, la mezcla del efluente del intercambio iónico con la de sin tratar por este medio. Así, se logra una calidad de agua deseada: de esta forma, los costos totales operativos se reducen en proporción al nivel de mezcla.

La eficiencia de remoción del intercambio iónico es superior al 90%.

B) Ósmosis inversa.- Ósmosis es la transferencia de una solución de menor concentración de soluto (agua) a otra de mayor concentración al estar separados por una membrana semipermeable (permeable al disolvente, pero impermeable al soluto) aplicando presión del lado concentrado puede lograrse una solución diluida en el otro lado.

Las membranas son de celofán o acetato de celulosa esencialmente, pero también se han usado vidrio poroso, vidrio molido, precipitados de ferrocianuro de cobre y fosfatos de zinc y uranilo, aunque estos últimos son quebradizos.

Cuando se tratan las aguas residuales por medio de ósmosis inversa, éstas se ponen en contacto con una membrana semipermeable adecuada, a una presión superior a la presión osmótica de la solución. Así, el agua residual pasa a través de la membrana. Todos los sólidos disueltos se concentran en el compartimiento del agua residual. Este concentrado se descarga en forma de rechazo. En el otro compartimiento se obtiene el agua tratada con un mínimo de sólidos a presión atmosférica.

Para caracterizar el funcionamiento de las membranas, se toman en cuenta a la producción de agua tratada referida a un área de la membrana seleccionada, esto es, el flujo de agua, (cantidad de agua recuperada por día y por área de membrana) y la pureza de la misma agua, o sea, el factor de rechazo (relación de calidad entre la alimentación y la descarga) y se toma como un factor de selectividad cuantitativa de la membrana. Debe existir un aprovechamiento óptimo entre el flujo de agua y su nivel de rechazo.

El flujo de agua está determinado por la siguiente relación:

$$F = A (\Delta P - \Delta \pi)$$

de donde:

F = flujo del agua.

ΔP = presión ejercida sobre la solución entrante.

ΔP = P alimentación – P salida (producto) [atm].

$\Delta \pi$ = presión osmótica de la solución de alimentación.

$\Delta \pi$ = π alimentación – π salida (producto) [atm].

A = coeficiente de paso por área de membrana [l/d m² atm].

El factor de rechazo (f), está dado por:

$$f = \frac{C_a - C_p}{C_a}$$

C_a = concentración de soluto en la alimentación.

C_p = concentración del soluto en el producto.

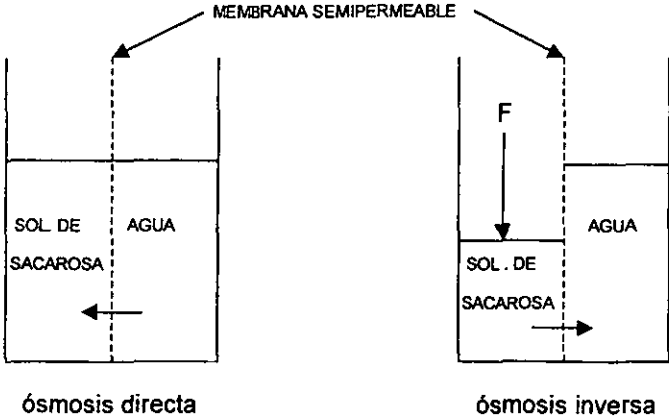
La temperatura afecta en forma al nivel de rechazo: a mayor temperatura, mayor rechazo, y esto es debido a que se cierra el tamaño de los poros. El flujo de agua, por el contrario, se reduce.

El flujo también se disminuye al aplicar mayor presión a la membrana, ocasionando que los poros se cierren, y también, cuando se hidrolizan los grupos del acetato de celulosa (acetilos) de la membrana (el rango óptimo de pH es de 5-6).

Las membranas, al ensuciarse, producen una reducción de flujo en forma proporcional. Las principales causas de ensuciamiento son los sólidos en suspensión, los compuestos de hierro, los microorganismos, las variaciones de pH fuera del rango de trabajo (5-6), el exceso de sales minerales, etc.

La ósmosis inversa se aplica mucho en la desalación del agua de mar para contar con agua potable e industrial, en el pretratamiento para los desmineralizadores al usar menos cantidad de ácido sulfúrico y sosa cáustica, y en el tratamiento de aguas residuales.

GRAFICOS DE TIPOS DE OSMOSIS



el agua fluye libremente.

para que fluye la sacarosa, se le debe aplicar una fuerza superior a la presión osmótica.

La eficiencia de remoción es de 91–99% y es superior al de intercambio iónico. También elimina materia orgánica, turbiedad y organismos patógenos. Su principal desventaja es la poca duración de las membranas (de alto costo), el depósito de sales en el interior de éstas y la posibilidad de daño por mala operación.

TEORIA GENERAL DE LA CLARIFICACION

Clarificación es la remoción de la materia suspendida y en algunas ocasiones también de color de las fuentes de abastecimiento de agua. La materia suspendida pueden ser partículas grandes, que sedimentan fácilmente y en estos casos, el equipo de remoción consiste de un tanque de sedimentación o filtros. Cuando las partículas son pequeñas y se mantienen en suspensión – pasando estas a través de los filtros -, la remoción de éstas se lleva a cabo con el uso de coagulantes.

Después de la clarificación se utiliza la filtración para remover las partículas suspendidas que se fugan del proceso de coagulación. Aquí, las numerosas partículas suspendidas, son atrapadas en un medio filtrante, cuyos materiales principales son la arena, la antracita y la tierra diatomácea. La filtración se basa en el principio de que los poros del medio filtrante son más pequeños que las partículas.

Los mecanismos de la clarificación son tres:

A) Coagulación.- Proceso de desestabilización de las partículas suspendidas por neutralización parcial de cargas.

B) Floculación.- Proceso de aglomeración de las partículas coaguladas (cargas neutralizadas) y los productos hidrolizados del coagulante y/o las cadenas de polímero en su caso.

C) Sedimentación.- Proceso en el cual, las partículas suspendidas tienden a bajar al fondo del clarificador.

Los factores que afectan a los procesos de clarificación serían:

a) Materia suspendida:

Tamaño de partícula.- De acuerdo con la Ley de Stokes, el tamaño de una partícula es directamente proporcional a su velocidad de asentamiento; ésto implica que a mayor tamaño de partícula, mayor la velocidad de asentamiento.

Concentración de la partícula.- A mayor cantidad de sólidos en suspensión, menor será el espacio entre ellos; así mismo, se incrementa la probabilidad de choques interpartícula, lo cual ayuda a los procesos de coagulación y floculación.

Densidad de partícula.- A mayor densidad de partícula, mayor será la fuerza de atracción entre ellas, y por lo tanto se facilita la aglomeración de partículas (floculación).

Carga de la partícula.- La mayoría de las partículas en suspensión, tienen carga negativa; a mayor carga, mayor el radio de carga y la fuerza de repulsión entre partículas. Esto significa la aglomeración de partículas (floculación).

b) pH del agua:

El pH del agua puede afectar al buen desempeño de un coagulante primario, así como el uso de aditivos como el cloro puede afectar el funcionamiento de un polímero.

c) Temperatura del agua:

La temperatura del agua modifica la viscosidad, por lo tanto, a mayor temperatura las partículas encontrarán menor resistencia a sedimentar.

d) Recirculación de lodos:

A mayor concentración de sólidos, mayor el contacto interparticular y más efectiva la floculación y la coagulación.

e) Agitación.- Cada etapa en la clarificación requiere de una determinada velocidad de agitación: rápida para la coagulación, media para la floculación y lenta para la sedimentación.

f) Concentración del coagulante.- La cantidad de coagulante es determinante, ya que una subdosificación afecta tan desfavorablemente como una sobredosificación.

TEORIA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON LA COAGULACION

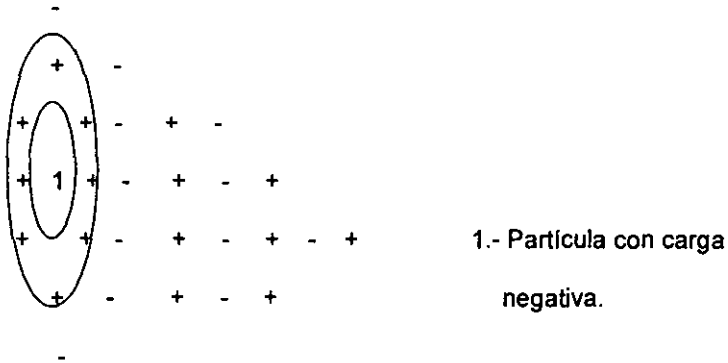
Prácticamente todas las aguas superficiales contienen una turbiedad que es perceptible. Esta turbiedad es producida por las partículas que son arrastradas en el curso de agua, cuyos tamaños más comunes se presentan en la siguiente tabla, (18):

Tamaño de partícula (mm)	Tipo de partícula	Tiempo de sedimentación
1.0	grava	3 segundos
0.1	arena fina	38 segundos
0.01	arcillas	33 minutos
0.001	bacteria	55 horas
0.0001	coloides grandes	230 días
0.00001	coloides pequeños	6.3 años

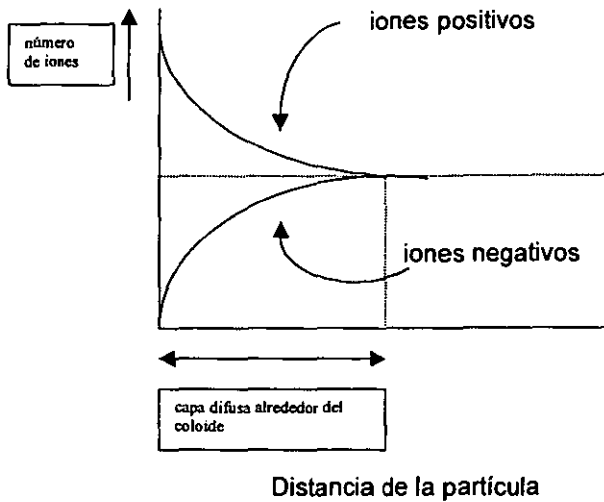
Conforme el tamaño de la partícula se reduce, más difícil es su sedimentación, ya que las partículas menores a 50 μm no se sedimentan de forma natural.

La aglomeración de partículas en grupos, para incrementar su tamaño y facilitar su sedimentación, es posible en algunos casos, pero cuando se trata de las partículas coloidales, estas poseen ciertas propiedades que no permiten su aglomeración. Por lo anterior, para eliminar la turbiedad de esta agua, se requiere de tratamientos especiales.

Estabilidad coloidal.- Las suspensiones coloidales que no se aglomeran de manera natural se conocen como estables. El factor más importante que contribuye a la estabilidad de estas suspensiones es la tasa que relaciona su superficie con el volumen que ocupan, que resulta de su tamaño tan pequeño. Esto quiere decir que hay predominio de un fenómeno superficial sobre un fenómeno de masa. El fenómeno superficial más importante es la acumulación de cargas eléctricas en la superficie de las partículas, siendo una carga eléctrica negativa. Los iones presentes en el agua se verán afectados por esta carga superficial, como se muestra en la siguiente figura:

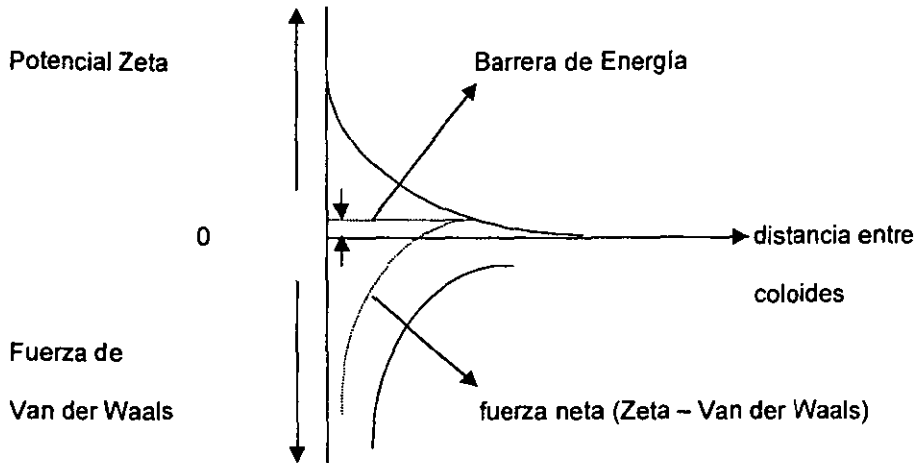


La primera capa de cationes atraídos por la superficie del coloide se "enlaza" al mismo y se traslada con él. Otros iones en la vecindad del coloide se acomodan de tal manera que una mayor concentración de iones positivos estará más cerca de la superficie coloidal. El arreglo de cargas indicado producirá una carga neta que es más fuerte en la capa de enlace y decrece de manera exponencial con la distancia al coloide:



Cuando dos coloides se acercan se manifiestan dos fuerzas que actúan sobre él: La primera se llama "potencial electrostático (zeta)", creado por el halo de iones que rodean a cada coloide, provocando la repulsión de otras partículas, previniendo el contacto entre ellas. La segunda fuerza, llamada de "Van der Waals", es una fuerza de atracción que promueve el contacto entre partículas. Esta fuerza es inversamente proporcional a la sexta potencia de la distancia entre las partículas y decae exponencialmente con la distancia. Esta fuerza decrece más rápidamente que el potencial electrostático, pero a distancias cortas es la más fuerte.

La suma de las dos fuerzas se ilustra en la siguiente figura:



La fuerza neta, según puede verse, es la repulsión a grandes distancias y se vuelve de atracción cuando rebasa el máximo de repulsión que se llama Barrera de Energía a cierta distancia entre los coloides: Una vez que la fuerza se ha vuelto de atracción, el contacto entre las partículas se lleva a cabo.

Existen medios para hacer que las partículas trasciendan la Barrera de Energía, tales como la agitación mecánica y la coagulación química.

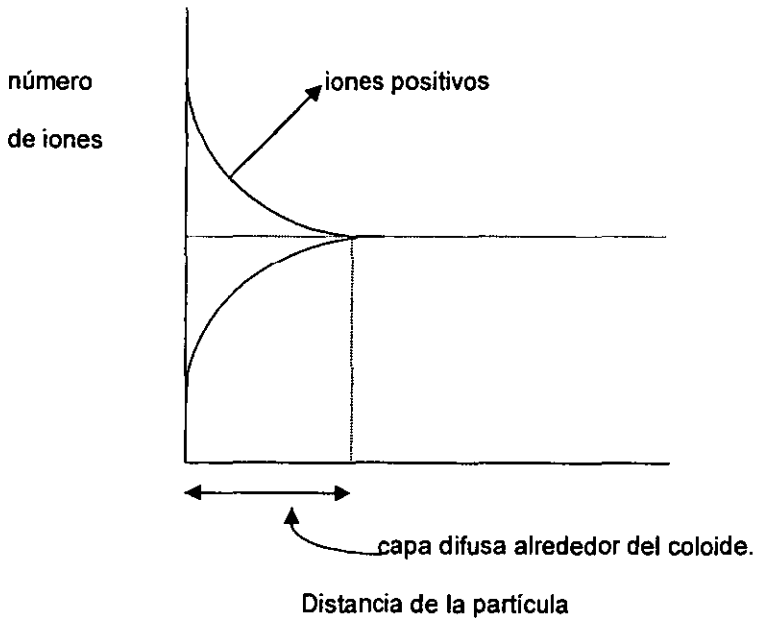
Teoría de la coagulación.-

La coagulación química se realiza utilizando sales de metales trivalentes como el sulfato de aluminio $[Al_2 (SO_4)_3]$ o el cloruro férrico $(FeCl_3)$ y aunque no se conoce exactamente lo que ocurre, son 4 los mecanismos que pueden explicar el proceso:

- 1.- Compresión de capa iónica.
- 2.- Adsorción y neutralización de cargas.
- 3.- Captura de una masa floculenta.
- 4.- Adsorción y puenteo interparticular.

1.- Compresión de la capa iónica.-

La cantidad de iones en el agua que rodean a un coloide tienen un efecto en la función de decaimiento del potencial electrostático Zeta. En la figura se muestra como una alta concentración iónica comprime las capas compuestas por iones positivos hacia la superficie del coloide. Si esta capa es suficientemente comprimida, entonces las fuerzas de Van der Waals predominarán y la fuerza neta será de atracción y no existirá la Barrera de Energía:

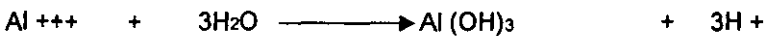
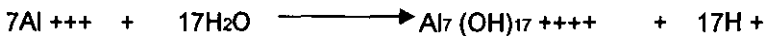
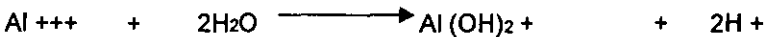
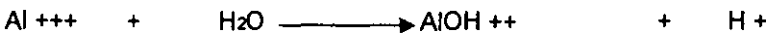


Aunque los coagulantes de sales metálicas se ionizan, a las concentraciones comúnmente utilizadas, no incrementan la concentración iónica lo suficiente como para comprimir la capa iónica alrededor del coloide.

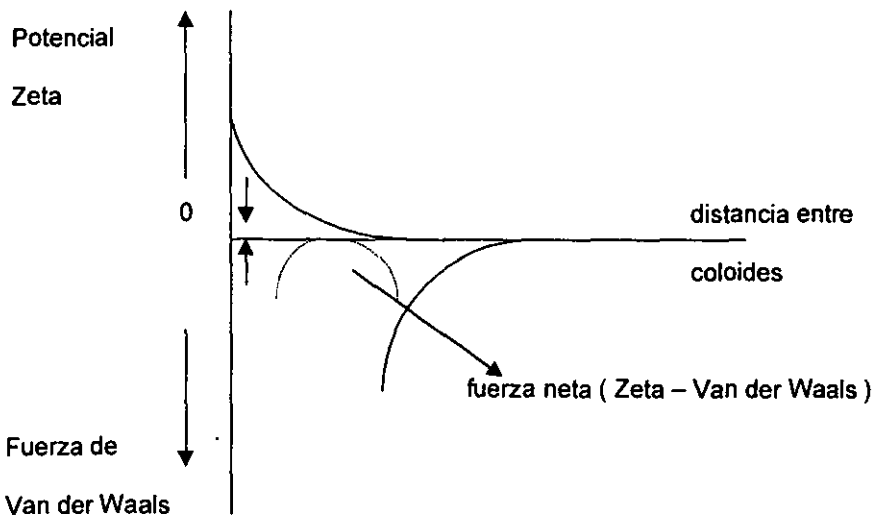
2.- Adsorción y neutralización de cargas.-

La naturaleza de los iones, más que la cantidad, es lo más importante en la teoría de la adsorción y neutralización de cargas.

La ionización del sulfato de aluminio en el agua produce iones sulfato (SO_4^-) y aluminio (Al^{+++}), mientras que los iones sulfato permanecen en esta forma o se combinan con otros cationes, los iones de aluminio reaccionan inmediatamente con el agua para formar una variedad de iones acuometálicos e hidrógeno.



Los iones acuometálicos formados forman parte de la nube que rodea al coloide y se adsorben en su superficie, neutralizando la carga superficial. Una vez que se ha neutralizado la nube iónica se disipa, llevando a la desaparición del potencial Zeta.



Captura en una masa floculenta.-

En la última de las reacciones del aluminio se forma el hidróxido de aluminio, el cual es un floculo amorfo y gelatinoso que es más pesado que el agua y se sedimenta por gravedad. Los coloides son atrapados en medio de estos floculos y se sedimentan juntos.

En definitiva, las sales de fierro y aluminio son las más comúnmente usadas como coagulantes primarios:

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1.- Sulfato de aluminio | $[Al_2 (SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$. |
| 2.- Aluminato de sodio | $[Na_2 Al_2O_4]$. |
| 3.- Sulfato de fierro | $[Fe_2 (SO_4)_3]$. |
| 4.- Cloruro de fierro | $[Fe Cl_3 \cdot 6H_2O]$. |
| 5.- Cloruro de aluminio | $[Al Cl_3]$. |

Un coagulante primario ayuda a la clarificación de 2 maneras:

- A) Neutralizando cargas (proceso de coagulación) y,
- B) Agregando centros activos (por hidrólisis) de hidróxidos metálicos.

Dependiendo del tamaño de partícula, será la cantidad de coagulante primario requerida para la neutralización de cargas.

Para la formación eficiente del hidróxido de aluminio es necesario que, por cada parte por millón (ppm) de $Al_2 (SO_4)_3$, existan 6 ppm de alcalinidad como bicarbonato.

También se usan los polímeros o polielectrolitos, existiendo 4 tipos:

- A) Catiónicos, contienen carga positiva.
- B) Aniónicos, contienen carga negativa.

C) No-iónicos, no contienen carga.

D) Anfotéricos, contienen cargas positiva y negativa.

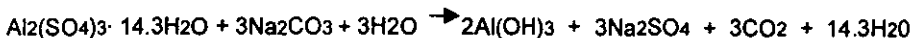
Una de las diferencias entre el coagulante primario y el polielectrolito es que en el momento de usar el equipo filtrante, el primero como sus partículas son compactas y tienden a obstruir rápidamente las superficies del filtro y es necesaria más agua de retrolavado. Por otra parte, cuando se usa un polímero para ayudar a la clarificación se refleja también en la operación de filtros, debido a que se forma un "floc" de consistencia esponjosa y de mayor tamaño, y así, el filtro dura mayor tiempo operando. Se facilita su remoción con mayor eficiencia al momento de retrolavar.

REACCIONES GENERALES INVOLUCRADAS.-

El sulfato de aluminio (alumbre) reacciona con la alcalinidad natural en el agua para formar un flóculo de hidróxido de aluminio:



Cada mg de aluminio disminuye la alcalinidad del agua en 0.5 mg/l de CaCO_3 y produce 0.44 mg/l de CO_2 . Este es indeseable por la corrosividad que produce en el agua. Si el agua no contiene suficiente alcalinidad para reaccionar con el alumbre, es preciso agregar cal, $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ o soda, (Na_2CO_3) :

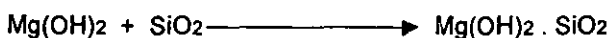
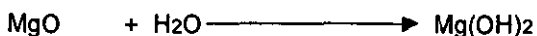


La soda no aumenta la dureza del agua, solamente la corrosividad. La cal es más barata que la soda.

El cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), se emplea para mejorar el asentamiento y filtrabilidad de los lodos. Se obtiene coagulación a pH bajos (~ 5.0).

También se pueden usar como coagulantes a los sulfatos ferroso y férrico.

La remoción de la sílice por medio del óxido de magnesio, se lleva así:



PRUEBA DE JARRAS PARA LA DÓISIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.-

Debido a que no se conoce con precisión el mecanismo de la coagulación, es necesario determinar de manera experimental la dosis de coagulante que se debe de aplicar para un agua dada. Esto se logra mediante "LA PRUEBA DE JARRAS".

La prueba de jarras se realiza con 6 recipientes de vidrio que contienen por lo menos un litro de muestra y son de igual forma y tamaño. Estos 6 recipientes, (jarras), se colocan en un aparato de agitación, el cual, de manera simultánea, se mezcla el contenido de cada jarra a la misma velocidad. Cada una de las 6 jarras se llena con un litro de agua, a la cual se le han determinado los siguientes parámetros fisicoquímicos: el color verdadero, la turbiedad, el pH, la alcalinidad total y la dureza total. Una jarra es usada como control y las 5 restantes se le agregan dosis diferentes del coagulante. Después de que se le ha agregado éste, el agua se mezcla rápidamente por un minuto para asegurar la completa dispersión del coagulante. Luego se mezcla lentamente por 15 ó 20 minutos para permitir la formación de flóculos. Posteriormente el agua se deja reposar por 30 minutos o hasta que se clarifique. Del agua sedimentada, se toman porciones y se analizan

por los mismos parámetros arriba mencionados. Los resultados de la prueba se utilizan para calcular el tipo y cantidad del coagulante.

Con esta prueba, se busca determinar la dosis del coagulante que sea suficiente para remover los parámetros por abajo del límite establecido por la Normatividad Oficial, o bien, por el límite requerido para un proyecto definido.

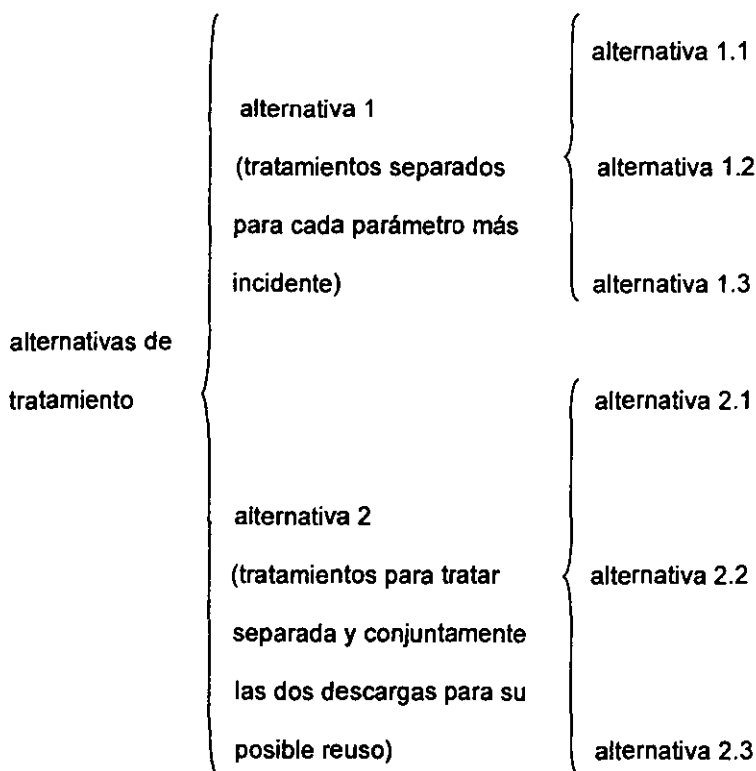
TABLA DE REMOCIONES PROMEDIO POR EL PROCESO DE COAGULACION QUIMICA,(9).

Parámetro	% Remoción			
	con cloruro férrico	con cal	con sulfato de aluminio	con cloruro férrico y cal
DBO	62	53	76	81
DQO	61	52	69	81
SST	67	65	83	91
N-NH ₃	14	22	-	-
Grasas y aceites	91	40	89	-
Color	73	46	72	-
Turbiedad	88	67	86	-

REMOCION DE ORGANISMOS PATOGENOS.- Esta remoción se lleva a cabo por medio de cloración, ozonación, dióxido de cloro, luz ultravioleta, principalmente.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA ATACAR LA PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE GRUPO REAL DEL MONTE, S.A. DE C.V., UNIDAD CAMARGO

Se pueden considerar varios caminos técnicos posibles como alternativas de tratamiento para atacar la problemática de las aguas residuales, sin olvidar que existen posibilidades extras tales como el uso de aguas para riego o como aguas salinas para ganado. Para su mayor comprensión se plantea el siguiente esquema de alternativas técnicas, (19):



A continuación, se desarrolla información básica de cada alternativa:

ALTERNATIVA 1.- Tratamientos separados para cada uno de los parámetros que más inciden en el pago del derecho a descargar las aguas residuales en cuerpos receptores: coliformes, nitrógenos y grasas y aceites, logrando una reducción de las actuales condiciones de contaminación del agua hasta el punto de estar cerca y/o por debajo de las especificaciones de la NOM-001-ECOL-1996 de CONAGUA, y con esto, reducir o eliminar dicho pago trimestral:

Dicha reducción implicaría mejorar las condiciones operativas respecto a la emisión de contaminantes, o bien, reducir éstos por medio de tratamientos tales como:

ALTERNATIVA 1.1.- TRATAMIENTO PARA COLIFORMES FECALES Y TOTALES.-

Si se considera que en la Unidad trabajan un máximo de 130 personas por día (100 trabajando actualmente más un factor de seguridad de 30%) trabajando las 24 horas y los 365 días del año, y tomando como base un consumo máximo de 150 litros por persona diariamente, se tiene que se generan alrededor de 20 m³ de aguas negras (sanitarias) por día.

Estas aguas son ricas en contaminantes tales como coliformes totales y fecales o en demanda bioquímica de oxígeno. Para la reducción de estos parámetros se cuenta con un proyecto de una planta tipo paquete de un proceso biológico de lodos activados por aereación prolongada, el cual consiste de:

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.-

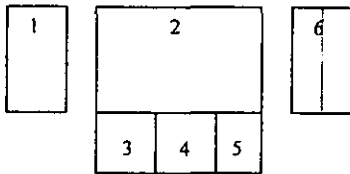
- + Las aguas negras se descargan por gravedad a una fosa captadora de este tipo de aguas y está construida en concreto, con una capacidad de 6 metros cúbicos y 8 horas de retención y tendrá las funciones de un tanque igualador de flujo.
- + De la fosa captadora, las aguas negras, se enviarán – por medio de dos bombas de transferencia, tipo sumergibles y controles de nivel – a la planta de tratamiento de aguas negras, consistente en un compartimiento de aereación (con una capacidad de 24 horas de retención al flujo), aquí, por medio de sopladores y difusores de aire, se proporcionará el aire requerido para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, para obtener una reducción en el contenido de la DBO de un 95% aproximadamente.
- + De la sección de aereación, los efluentes pasan por medio de un vertedero a otro compartimiento para la clarificación, donde se separan los lodos del agua clara.
- + El agua clarificada pasa otro compartimiento para el contacto con cloro. Por medio de una bomba dosificadora, se aplicará hipoclorito de sodio (HClO) y el agua permanecerá en contacto con el cloro por un tiempo de 80 minutos para su desinfección.
- + Los lodos sedimentados en el compartimiento de clarificación, envían una parte al tanque de aereación - por medio de una bomba de transferencia – para mantener el contenido de sólidos en suspensión y materia orgánica requerida para la actividad biológica de este compartimiento de digestión de lodos, permaneciendo por un máximo de 30 días, donde se mantendrán aereando hasta la estabilización

de los lodos, para después ser enviados, por gravedad a una fosa de secado de lodos.

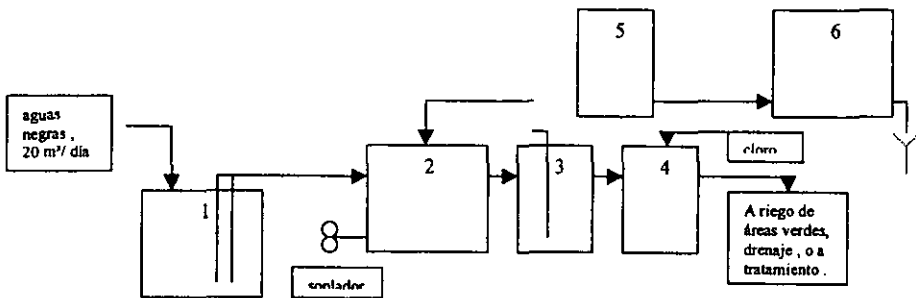
El agua, una vez desinfectada, puede ser utilizada para riego, para descargarse al Río, o bien, juntarla con las otras descargas para su posible tratamiento de recirculación (reuso).

El diagrama de flujo propuesto es el siguiente:

El área mínima requerida es de 40 metros cuadrados (5 m de ancho por 8 m de largo, aprox.):



- 1.- Fosa captadora.
- 2.- Tanque de aereación.
- 3.- Tanque clarificador.
- 4.- Tanque de cloro.
- 5.- Tanque digestor.
- 6.- Fosa de secado de lodos.



de donde:

1.- Fosa de captación de aguas negras.

Dimensiones: largo, 2.0 metros; ancho, 1.5 metros y; profundidad, 2.0 metros; para una capacidad de 6.0 metros cúbicos.

Bombas de transferencia: 2 piezas (una en operación y de repuesto), del tipo sumergible, capacidad 14 litros por minuto c/u, motor de cada bomba de 1.0 H.P. (1750 rpm y 220-440 V) y una presión de descarga de 1.0 Kg/cm².

2.-3.-4.-5.- Tanque de aereación, clarificador, cloración y digestor de lodos, tipo rectangular, dividido en 4 compartimientos:

+ Flujo normal a tratar : 14.0 litros por minuto.

+ Flujo máximo a tratar : 20.0 litros por minuto.

+ Temperatura : ambiente.

+ Presión de operación : atmosférica.

+ Tiempos de retención en cada uno de los compartimientos:

aereación : 21 horas. cloración : 80 minutos.

clarificación : 3 horas. digestión : 30 días.

+ Datos de construcción del tanque:

cantidad : 1 . material de construcción : acero al carbón.

Volumen : 24 m³ . número de compartimientos : 4 .

tipo : rectangular, abierto.

+ Dimensiones del tanque:

longitud : 3.0 m ancho : 2.7 m profundidad : 3.0 m.

+ Compartimiento de aereación:

fondo : tipo tolva.

+ Compartimiento de cloración:

cantidad : 1.

tipo : rectangular , abierto .

volumen : 1.2 m³ .

dimensiones :

longitud : 0.7 m ancho : 0.7 m profundidad : 3.0 m .

entrada : derramadero de 0.7 m de largo por 0.3 m de ancho .

salida : cople de 25.4 mm (1") .

+ Compartimiento de digestión de lodos :

cantidad : 1.

tipo : rectangular , abierto.

volumen : 1.5 m³.

dimensiones:

longitud : 0.8 m ancho : 0.7 m profundidad 3.0 m.

internos:

difusores : del tipo "plato" de burbuja gruesa, con membrana de hule perforado.

capacidad de cada difusor : 2 pies cúbicos por minuto de aire.

cantidad de difusores : 1.

soplador :

el aire es suministrado por el mismo soplador del compartimiento de aereación.

6.- Fosa para secado de lodos.

cantidad: 1.

material de construcción : concreto.

capacidad : 2 m³.

dimensiones :

longitud : 2.0 m

ancho : 1.0 m

profundidad : 1.0 m.

además:

a) Bombas para recirculación de lodos:

cantidad : 2 (una en operación y otra de repuesto).

tipo : sumergibles.

capacidad de cada bomba : 14 litros por minuto.

motor de cada bomba : 1.0 H.P. , 1750 rpm y 220/440 V.

presión de descarga : 1.0 Kg/cm².

b) Sistema de dosificación de cloro:

cantidad : 1.

tipo : electromagnética.

capacidad : 2.4 litros por hora.

presión de descarga : 5.0 Kg/cm².

Como parte inicial y fundamental se deben canalizar independientemente las aguas sanitarias del resto de las aguas residuales y aprovechando su flujo hacia el norte geográfico de la planta, se puede considerar un terreno disponible de 3 hectáreas de la Unidad que se encuentra en esta zona, para la instalación de una planta de tratamiento de aguas sanitarias.

Como se anotó al principio del inciso, este proceso reduce principalmente los niveles de coliformes y de DBO. Los SST también se ven afectados:

parámetro	calidad agua entrada	calidad agua salida
coliformes totales (NMP/100 cm ³)	15000	< 1000
coliformes fecales (NMP/100 cm ³)	1000	< 50
DBO, mg/l	90	< 10
SST, mg/l	400	< 150

Esta calidad de agua a la salida del tratamiento estaría por debajo de especificaciones respecto a los parámetros coliformes y DBO, y ya no afectaría como posible riesgo a la población y la descarga se podría usar en áreas verdes.

Los costos serían los siguientes:

Se tiene una cotización de referencia, de una compañía prestadora de servicios, para un proyecto de una planta tipo paquete, el cual tiene un costo de \$400,000.00 (cuatrocientos mil pesos) más \$100,000.00 (cien mil pesos) en preparativos. Al final se debe considerar el costo operativo y de mantenimiento.

Al amortizar los \$500,000.00 en 5 años, el costo diario y trimestral por este tratamiento sería de:

$$\$274.00/\text{día} = \$24,658.00/\text{trimestre}.$$

Costo unitario (CU) de agua tratada:

$$\text{CU} = \frac{\text{inversión}}{\text{gasto de agua a tratar}} = \frac{\$500,000}{20 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{\$500,000}{175,200 \text{ m}^3/\text{año}} = \$2.85/\text{m}^3 \text{ anual}$$

Si los costos de operación y de mantenimiento se refieren a "consumibles" (empaques, anillos, diafragmas, sensores de conductividad y de pH, etc.); mano de obra de un operador estimada en 2 horas por turno; productos químicos (hipoclorito de sodio); suministro de energía eléctrica; renta de camiones sistema para la disposición final de los lodos (cada 2-3 meses), el costo anual estimado sería de:

$$\begin{aligned} & \$ 2.85 \\ & \text{-----} (0.03) = 0.0855 \\ & \text{m}^3 \text{ anual} \\ & \$500,000 (0.0855) = \$42,750/\text{año.} \end{aligned}$$

ALTERNATIVA 1.2.- TRATAMIENTO PARA NITROGENO AMONIACAL.-

Se propone el proceso de cloración "al punto de quiebre" por medio de cloro (hipoclorito de sodio) en un medio ácido apropiado para la optimización de la reacción:

En el Laboratorio KAMPE, S.A. de C.V., de la Cd. de México, personal del mismo llevaron a cabo pruebas al respecto, (trabajo similar se hizo en la Unidad en forma posterior) y se observaron reducciones de nitrógeno amoniacal de un 88%, con hipoclorito de sodio al 12% y ácido sulfúrico al 20%: si se descargan 2500 ppm de nitrógeno amoniacal en las aguas residuales, con este tratamiento químico, el nivel final después de la cloración, significan 300 ppm. (Esto impactaría en que los

\$5000.00 de pagos actuales trimestrales, por el pago del derecho de descarga de aguas residuales, pasarían a ser de estimadamente de \$700.00).

Se ha cuantificado que del contenido del nitrógeno total, el 90% lo representa el nitrógeno amoniacal:

$$0.90 \text{ nitrógeno amoniacal} + 0.10 \text{ nitrógeno orgánico} = 1.00 \text{ nitrógeno total.}$$

Al reducir o minimizar el contenido del nitrógeno amoniacal, ya sea por cuestiones operativas o por tratamiento químico, estaremos resolviendo casi en su totalidad el problema para este parámetro en especial:

El tratamiento de cloración consiste primordialmente de:

+ El pH original (9.1 y 7.8, a Río y a Estanque, respectivamente), debe bajarse a un pH ácido (alrededor de 2).

+ Se le agregó 0.8 mililitros de hipoclorito de sodio (HCIO) al 12% por cada 150 mililitros de agua residual.

+ Se debe de agitar por 10 minutos y dejar reposar.

(como observación, al final se presentan partículas blancas filtrables y un agua libre de aroma amoniacal).

La calidad de las descargas respecto al parámetro principalmente abatible, el nitrógeno amoniacal, es de:

PARAMETRO	RIO FLORIDO		ESTANQUE DE RIEGO	
	calidad agua entrada	calidad agua salida	calidad agua entrada	calidad agua salida
nitrógeno total (mg/l)	2500	300	25	3

Costos :

Sólo se plantean los costos de operación, debido al uso por hipoclorito de sodio al 12%. El ácido sulfúrico se tiene a disposición en la Unidad en forma de desecho de las regeneraciones de las unidades de intercambio iónico de las cuales se cuentan con dos trenes desmineralizadores. Igualmente, se tiene a disposición un tanque contenedor para el cloro.

+ Costos de operación: (\$1.3/Kg de hipoclorito de sodio al 12%)

$$\frac{0.8 \text{ ml HClO}}{150 \text{ ml agua}} = \frac{5.3 \text{ litros HClO } 12\%}{\text{m}^3}$$

para el Río Florido:

$$\frac{16 \text{ litros HClO } 12\%}{3 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{382 \text{ litros HClO } 12\%}{24 \text{ hr}} = \frac{\$496 \text{ HClO } 12\%}{24 \text{ hr}} = \frac{\$181,000}{\text{año}}$$

para el Estanque de Riego:

$$\frac{106 \text{ litros HClO } 12\%}{20 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{2544 \text{ litros HClO } 12\%}{24 \text{ hr}} = \frac{\$3300 \text{ HClO } 12\%}{24 \text{ hr}} = \frac{\$1'295,000}{\text{año}}$$

para las dos descargas:

$$\$248.00 + \$3300.00 = \$3796/\text{día} = \$319,320/\text{trimestre} = \$1'476,000/\text{año}.$$

ALTERNATIVA I.3.- TRATAMIENTO PARA GRASAS Y ACEITES.-

El proceso de recolección de grasas y aceites en la trinchera de síntesis que actualmente se aplica, es el de una banda formada por una fibra sintética (accionada por un motor eléctrico) que tiene la particularidad de ser oilofílica e hidrofóbica; atrapa el aceite emulsionado que se encuentra en la superficie del agua (también arrastra un poco de agua residual). La mezcla de aceite y agua se

envía a un tanque contenedor de 200 litros y que en su parte inferior está aditado con una válvula de bloqueo que sirve para desalojar al agua una vez que se separó del aceite. Una vez que el tanque se llenó con este líquido, se envía al Almacén de Residuos Peligrosos de la Unidad para su disposición temporal.

También, es recomendable seguir mejorando las cuestiones operativas del uso del aceite de lubricación (programa que actualmente se realiza: mediante el reciclo de aceites donde las condiciones operativas lo permitan, recolección de aceite por medio neumático, etc.), para que las descargas a la trinchera se puedan abatir a un mínimo, y que la función de la banda extractora, (arriba citada), sea de carácter pulidor.

Se calcula que el costo del equipo sería de alrededor de los \$50,000.00 actuales, equivalentes a:

$$\$27.00/\text{día} = \$2430/\text{trimestre}.$$

costo unitario de agua tratada:

$$\text{CU} = \frac{\$50,000}{26,280 \text{ m}^3/\text{año}} = \$1.90/\text{m}^3 \text{ anual}$$

costos de operación y mantenimiento:

$$\$1.90/\text{m}^3 \text{ anual} (0.03) = 0.06$$

$$\$50,000 (0.06) = \$2850/\text{año}$$

Con la implementación de un programa completo de ataque a este problema, se estima que el nivel de la reducción de contaminación por grasas y aceites podría pasar de las 40 ppm actuales a las 20 ppm.

ALTERNATIVA 2.- REUSAR EL AGUA RESIDUAL, UNA VEZ TRATADA, SOBRE TODO EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.-

"Tratando las dos descargas de aguas por separado".

"Tratando las dos descargas en forma conjunta".

Siendo los parámetros a controlar los nitrógenos, sólidos suspendidos totales, coliformes, grasas y aceites, temperatura, y primordialmente, el minimizar o eliminar éstos traería las siguientes ventajas:

+ Garantizar permanentemente la ausencia del pago por derecho de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores de la Nación.

+ Garantizar el reuso interno en las propias instalaciones, ya que se estima que el contenido de impurezas y sales inorgánicas será mínimo, de forma tal, que se pueden hacer combinaciones del flujo del agua recirculada con la del pozo (suministro).

+ Disminuir el pago por concepto de abastecimiento de agua (en lo concerniente al bombeo, ya que actualmente no se paga por el derecho de extracción); también, de reducirán los costos de acondicionamiento del agua de enfriamiento (productos químicos, ensuciamiento de equipos, mantenimiento, etc.).

+ Contar permanentemente con agua reciclada de buena calidad (opcional, mucho mejor que la de pozo).

La cantidad de agua reciclada (nivel de tratamiento) dependerá de los juicios locales sobre costos–beneficios. En el reuso del agua residual tratada, se deben considerar los siguientes aspectos:

"Las necesidades de cantidad y calidad del agua en los sistemas de interés".

“Comparación de los costos de usar agua reciclada, con la de pozo”.

“La severidad de los problemas de los desechos del agua residual tratada (impacto ecológico de la disposición final)”.

“Comparación con los sistemas actuales de uso de agua”.

Los problemas planteados por la calidad de las aguas de las descargas son complejos y no pueden resolverse mediante un esquema simple o convencional de tratamiento, sino por otro en que se vayan eliminando todos los parámetros contaminantes involucrados.

Se detallan tres planteamientos de alternativas:

ALTERNATIVA 2.1.-

Se considera que no resultaría práctico intentar la remoción del NTK mediante procesos fisicoquímicos tales como con aire a contracorriente (ammonia stripping) ya que aunque el alto valor original del pH de las aguas pueden favorecer esta opción, se tiene que aumentar aun más y ajustarlo después de remover el NH_3 a valores cercanos a la neutralidad mediante la recarbonatación, o bien, adición de ácidos inorgánicos fuertes del tipo del muriático o sulfúrico. Esto traería como consecuencia el incremento del contenido de sólidos y su salinidad en los suelos agrícolas.

Por lo anterior, se proponen los procesos biológicos, basados en la nitrificación de las aguas por aereación mecánica y su posterior desnitrificación mediante cultivos bacterianos apropiados.

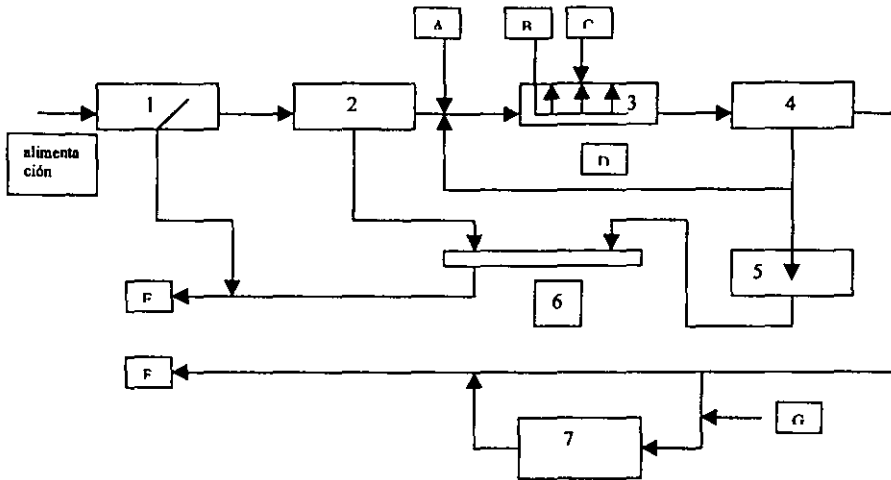
Por los actuales contenidos de DQO y DBO, se necesitará agregar una fuente complementaria de carbón (metanol o una corriente de aguas residuales de origen sanitario o doméstico). Se debe garantizar una relación de DBOs: N: P de 100: 5: 1 ($C/N \leq 20$ y $C/P \leq 100$) y además, micronutrientes del tipo de potasio, hierro, etc.

EL TREN DE TRATAMIENTO 2.1.- Consistiría de:

- a) Trampa de grasas y aceites.
- b) Sedimentación primaria para la remoción de sólidos suspendidos,(grasas y aceites, esencialmente)
- c) Tanque de aereación extendida.
- d) Sedimentación secundaria con recirculación al tanque de aereación.
- e) Desinfección con cloro o luz ultravioleta y unidades para el tratamiento de lodos biológicos (lechos de secado o filtro prensa).

Todo lo anterior sería para eliminar los parámetros "grasas y aceites, nitrógenos, DBO, DQO y SST"; si se pretendiese disminuir la concentración de sólidos salinos, ya sea de esta descarga, o bien, de las dos, sus opciones serían la ósmosis inversa, o bien, el intercambio iónico y esto dependerá de la calidad del agua de salida deseada.

El esquema del tratamiento propuesto sería:



de donde:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1.- Trampa para grasas y aceites. | A) Nutrientes de fósforo y potasio. |
| 2.- Sedimentación primaria. | B) Aire a baja presión. |
| 3.- Tanque de aereación. | C) Agua sanitaria o fuente de carbón. |
| 4.- Sedimentación secundaria. | D) Recirculación de lodos biológicos. |
| 5.- Espesado de lodos. | E) Lodos secos a disposición final. |
| 6.- Lecho de secado o filtro prensa. | F) Efluente tratado. |
| 7.- Osmosis inversa o intercambio iónico. | G) Descarga del Estanque de Riego. |

Localmente, se realizó un diseño de un sistema desmineralizador para el tratamiento de 20 m³/hr de agua residual al estanque de riego y con una dureza total de 1000 ppm, arrojando los siguientes resultados:

Flujo = 20 m³/hr = 88.1 gpm

Dureza total, Dt = 1000 ppm CaCO₃ = 58.480 granos/galón

+ Para el anión:

a) Resultados de la resina:

Capacidad de resina, Cr = 19,000 granos/ft³ para 6 libras de sosa cáustica/ft³ de resina.

Volumen de agua, Vagua = 88.1 gpm = 42,288 gal/ciclo, para 8 hr/ciclo.

$$\text{Volumen de resina, VR} = \frac{\text{dureza total (volumen de agua)}}{\text{capacidad de resina}}$$

$$= \frac{58.480 \text{ granos/gal (42,288 gal/ciclo)}}{19,000 \text{ granos/ft}^3} = 130 \text{ ft}^3/\text{ciclo}$$

Volumen de resina real, VR real, corregido por enjuague:

$$= 170 \text{ ft}^3/\text{ciclo}$$

b) Dimensiones del tanque.

$$\text{Area ideal} = 88.1 \text{ gpm} / 8 \text{ gpm/ft}^2 = 11.01 \text{ ft}^2$$

↑
constante de velocidad para flujo normal

$$\text{Diámetro ideal} = \frac{\left(\frac{11.01 \text{ ft}^2}{0.785} \right)^{\frac{1}{2}}}{3.14 (4 \text{ ft})} = 3.75 \text{ ft} \sim 4 \text{ ft}$$

$$\text{Area real} = \frac{\text{VR real}}{4} = \frac{170 \text{ ft}^3/\text{ciclo}}{4} = 12.56 \text{ ft}^2$$

$$\text{Altura del lecho} = \frac{\text{VR real}}{\text{Area real}} = \frac{170 \text{ ft}^3/\text{ciclo}}{12.56 \text{ ft}^2} = 13.54 \text{ ft}$$

$$\text{Expansión (75\%)} = 13.54 \text{ ft} (0.75) = 10.16 \text{ ft}$$

$$\text{Altura real} = 13.54 + 10.16 = 23.7 \text{ ft}$$

$$\text{Dimensiones} = 4 \text{ ft de diámetro y } 23.7 \text{ ft de altura.}$$

c) Regenerantes.

$$+ \text{Enjuague total} = 100 \text{ gal/ft}^3$$

$$+ \text{Nivel de regeneración} = 6 \text{ lb NaOH/ft}^3$$

$$+ \text{Retrolavado} = 6 \text{ gpm/ft}^2 (12.56 \text{ ft}^2) = 75.36 \text{ gpm}$$

constante de velocidad para retrolavado

Si el tiempo de retrolavado es de 3 minutos:

$$V \text{ agua} = 75.36 \text{ gpm} (3 \text{ minutos}) = 226.08 \text{ galones}$$

+ Inyección de sosa:

$$\text{Cantidad de sosa} = 130 \text{ ft}^3/\text{ciclo} (6 \text{ lb NaOH/ft}^3)$$

$$= 780 \text{ lb NaOH/ciclo}$$

$$\text{densidad sosa al 4\%} = 0.3481 \text{ lb/gal}$$

densidad sosa 50% = 6.364 lb/gal
 780 lb NaOH/ciclo

NaOH (4%) = $\frac{780 \text{ lb NaOH/ciclo}}{0.3481 \text{ lb/gal}}$ = 2240.74 gal/ciclo

NaOH (50%) = $\frac{780 \text{ lb NaOH/ciclo}}{6.364 \text{ lb/gal}}$ = 122.56 gal/ciclo

Agua de dilución = 2240.74 – 122.56 = 2118.2 gal/ ciclo

Velocidad de NaOH (4%) = 0.25 gpm/ft³ (dato de especificación)

Flujo de NaOH = 0.25 gpm/ft³ (130 ft³/ciclo) = 32.52 gpm/ciclo
 2240.74 gal/ciclo

Tiempo = $\frac{2240.74 \text{ gal/ciclo}}{32.52 \text{ gal/min}}$ = 68.9 minutos/ciclo
 122.56 gal/ciclo

Flujo (50%) = $\frac{122.56 \text{ gal/ciclo}}{68.9 \text{ minutos/ciclo}}$ = 1.78 gpm
 2118.2 gal/ciclo

Flujo agua dilución = $\frac{2118.2 \text{ gal/ciclo}}{68.9 \text{ minutos/ciclo}}$ = 30.74 gpm

Flujo total = 1.78 + 30.74 = 32.52 gpm

+ Enjuague lento:

Vacío = 40%

V vacío = 0.4 (130 ft³/ciclo) = 52.0 ft³

Entre distribuidores = $0.5 \text{ ft}(12.56 \text{ ft}^2) = 6.28 \text{ ft}^3$

Total = 58.28 ft^3

$58.28 \text{ ft}^3 (7.5 \text{ gal/ft}^3) = 437.1 \text{ galones}$

437.1 gal

Tiempo = $\frac{\text{-----}}{30.74 \text{ gal/minuto}} = 14.22 \text{ minutos}$

30.74 gal/minuto

+ Enjuague rápido:

$6 \text{ gpm/ft}^2 (12.56 \text{ ft}^2) = 75.36 \text{ gpm}$

Enjuague = $100 \text{ gal/ft}^3 (130 \text{ ft}^3/\text{ciclo}) = 13,000 \text{ gal/ciclo}$

Tiempo = $13,000 \text{ gal/ciclo} / 75.36 \text{ gpm} = 172.5 \text{ minutos}$

Tabla de regenerantes:

Etapa	Velocidad de flujo (gpm)	Tiempo de reg. (minutos)	Volumen de agua (galones)
Retrolavado	75.36	3	226.08
Inyección	32.52	68.9	2118.2
Enjuague lento	30.74	14.22	437.1
Enjuague rápido	75.36	172.51	13000
Total		258.63	15781.3

(se observa mucho tiempo de regeneración y demasiado volumen de agua).

+ Para el catión:

a) Resultados de la resina

$$\begin{aligned} & 58.480 \text{ granos/gal (42,288 gal/ciclo)} \\ \text{Volumen resina} &= \frac{\quad}{21,000 \text{ granos/ft}^3} = 118 \text{ ft}^3/\text{ciclo} \\ \text{Volumen agua} &= 42,288 + 100 (118) = 54,088 \text{ gal/ciclo} \\ & 58.480 \text{ granos/gal (54,088 gal/ciclo)} \\ \text{VR real} &= \frac{\quad}{21,000 \text{ granos/ft}^3} = 150.6 \text{ ft}^3/\text{ciclo} \end{aligned}$$

b) Dimensiones del tanque:

$$\begin{aligned} & 150.6 \text{ ft}^3/\text{ciclo} \\ \text{Altura ideal} &= \frac{\quad}{11.01 \text{ ft}^2} = 13.60 \text{ ft} \\ \text{Expansión (75\%)} &= 13.60 \text{ ft (0.75)} = 10.26 \text{ ft} \\ \text{Altura total} &= 13.60 + 10.26 = 23.9 \text{ ft} \sim 24 \text{ ft} \\ \text{Dimensiones} &= 4 \text{ ft de diámetro y 24 ft de altura total.} \end{aligned}$$

+ Regeneración ácida:

$$\begin{aligned} \text{VR real} &= 150.6 \text{ ft}^3/\text{ciclo} \\ \text{Area real} &= 12.56 \text{ ft}^2 \\ \text{Nivel de regeneración} &= 7 \text{ lb H}_2\text{SO}_4/\text{ft}^3 \text{ resina} \\ \text{Enjuague} &= 75 \text{ gal/ ft}^3 \text{ resina} \\ \text{densidad H}_2\text{SO}_4 \text{ (4\%)} &= 0.3422 \text{ lb/gal} \\ \text{densidad H}_2\text{SO}_4 \text{ (98\%)} &= 15.02 \text{ lb/gal} \end{aligned}$$

1.- Retrolavado = 6 gpm/ft² (12.56 ft²) = 75.36 gpm

↑ constante de retrolavado

Si tiempo = 3 minutos

V agua = 75.36 gal/min (3 minutos) = 226.1 gal

2.- Inyección ácida

Cantidad de ácido = VR real (nivel de regeneración)

= 150.6 ft³/ciclo (7 lb H₂SO₄/ft³ resina)

= 1054.2 lb ácido/ciclo

1054.2 lb ácido/ciclo

Acido sulfúrico (4%) = ----- = 3081 gal

0.3422 lb/gal

1054.2 lb ácido/ciclo

Acido sulfúrico (98%) = ----- = 70.2 gal

15.02 lb/gal

Agua de dilución = 3081 – 70.2 = 3011 gal

Velocidad de H⁺ al 4% = 1 gpm/ft³ resina constante

Flujo de H⁺ al 4% = 1 gpm/ft³ resina (150.6 ft³/ciclo) = 150.6 gpm

3081 gal

Tiempo = ----- = 20.54 minutos

150.6 gpm

Flujo agua de dilución = 3011 gal / 20.54 min = 146.6 gpm

Flujo de H⁺ (98%) = 70.2 galones / 20.54 minutos = 3.42 gpm

Flujo total de H⁺ = agua de dilución + ácido al 98%

$$= 146.6 + 3.42 = 150.0 \text{ gpm}$$

3.- Enjuague lento

Vacío = 40 %

V vacío = $0.4 (150.6 \text{ ft}^3/\text{ciclo}) = 60.24 \text{ ft}^3$

Entre distribuidores = $0.5 \text{ ft} (12.56 \text{ ft}^2) = 6.28 \text{ ft}^3$

Total = $66.52 \text{ ft}^3 = 499 \text{ galones}$

Tiempo = $499 \text{ galones} / 146.6 \text{ gpm} = 3.4 \text{ minutos}$

4.- Enjuague rápido

= $12.56 \text{ ft}^2(6 \text{ gpm/ft}^2) = 75.36 \text{ gpm}$

Enjuague = $K_9 (\text{VR real})$

↑
constante

= $75 \text{ gal/ft}^3 (150.6 \text{ ft}^3/\text{ciclo}) = 11,295 \text{ galones}$

Tiempo = $11,295 \text{ galones} / 75 \text{ gpm} = 150.6 \text{ minutos}$

Tabla de regenerantes:

Etapa	Velocidad de flujo (gpm)	Tiempo de reg. (minutos)	Volumen de agua (galones)
Retrolavado	75.36	3	226.1
Inyección	150.6	20.54	3011
Enjuague lento	146.6	3.4	499
Enjuague rápido	75.36	150.6	11295
Total		177.54	15031

Totales :

Equipo	Tiempo (minutos)	Volumen de agua (galones)
Anión	258.63	15781.3
Catión	177.54	15031
Totales	436.17	30812.3

ALTERNATIVA 2.2.-

Se consideran dos sistemas de tratamiento: uno para tratar las aguas que descargan al Río Florido, y la otra, para las que se envían al Estanque de Riego. Se puede tomar en cuenta el terreno de 3 hectáreas que se encuentra al norte geográfico de la planta para aprovechar las características del agua sanitaria por los nutrientes que contiene:

PARA LA DESCARGA AL RIO FLORIDO:

Debido a que a esta le llegan las aguas de desecho de síntesis de urea, sanitarios y servicios generales, los parámetros a eliminar son:

Nitrógenos, DBO, DQO, SST, grasas y aceites y la sílice (incluida en los sólidos totales):

Los 5 primeros parámetros se eliminan por el tratamiento biológico de nitrificación–desnitrificación, mientras la sílice se hará junto con la descarga al Estanque de Riego, por un medio fisicoquímico de coagulación–filtración.

Breve descripción del proceso:

Una vez que fueron removidos los objetos de tamaño considerable (palos, trapos, hojas, etc.) y que las grasas y aceites se separaron del efluente, éste se envía al tratamiento biológico (nitrificación–desnitrificación)-clarificación, que cuenta con un tanque que trabaja en fase anóxica (presencia de oxígeno en elementos pero no como oxígeno disuelto, en este caso como nitrato), un tanque de aereación y un clarificador.

En el tanque de aereación se logra oxidar la materia orgánica destruyéndola por medio de la acción de bacterias aeróbicas. La cantidad de aire que se agrega es tal que además de permitir oxidar la materia orgánica, oxida el nitrógeno orgánico y amoniacal transformándolos en nitratos. Esta agua se recircula hacia el tanque que trabaja en estado anóxico que es donde se recibe el agua cruda de suministro al sistema.

En el tanque anóxico no se agrega aire y sólo se asegura un correcto mezclado entre el agua cruda y la recirculada y además sirve para evitar se sedimenten sólidos en el mismo. El agua cruda consume el oxígeno disuelto del agua de recirculación y cuando este se termina comienza a consumir el oxígeno de los nitratos, oxidando materia orgánica sin requerir energía adicional para suministrar aire. Los nitratos se reducen a nitrógeno elemental que es eliminado como gas en este tanque.

En el tanque de aereación se agrega aire en cantidad suficiente para oxidar la materia orgánica que aún no ha sido degradada en el tanque anóxico, y para oxidar los nitrógenos orgánico y amoniacal.

En ambos tanques existe una concentración importante de licor mezclado, que no es otra cosa que lodo activado, llamándose así debido a que en su mayor parte se trata de bacterias activas que son las encargadas de degradar la materia orgánica. Con el fin de separar el lodo del licor mezclado del agua, este licor pasa a un clarificador donde los sólidos se sedimentan y el agua clarificada sale por la parte superior del equipo. Debido a que el lodo sedimentado aún contiene bacterias activas, una parte importante del mismo es recirculado al tanque anóxico, mientras

que el lodo en exceso que se va produciendo es retirado del sistema para su disposición final.

El agua clarificada pasa a un tanque de agua, de donde toma una bomba que recircula agua al mismo tanque pasando en su trayecto por un venturi, que succiona de un generador de ozono desinfectando de esta manera el agua para pasar a las etapas siguientes del tratamiento, (a partir del tanque de homogeneización), que es cuando se mezcla con el efluente que descarga al Estanque de Riego.

El tratamiento biológico consiste de:

- + Fosa de bombeo.
- + Bombeo.
- + Rejilla de entrada.
- + Separador de aceite.
- + Tratamiento biológico por nitrificación-desnitrificación.
- + Clarificación secundaria.

Los lodos producidos se juntarán con los del tratamiento de efluentes salinos y se tratarán en forma conjunta.

PARA LA DESCARGA AL ESTANQUE DE RIEGO:

Esta agua proviene de los sistemas de enfriamiento y del recuperador de condensado. Aquí, la conductividad no es la que limita el reuso del agua de

enfriamiento, sino los principales componentes de ella que pueden precipitarse en el sistema, como serían los sulfatos, dureza, sodio y sílice.

Por tal, se plantea mezclar el efluente que proviene del tratamiento biológico de la descarga al Río con la del Estanque, en un tanque de homogeneización y realizar un tratamiento fisicoquímico para remover los principales componentes salinos mencionados arriba. La alta temperatura de la descarga al Estanque (55-65°C) ayuda a la remoción de la sílice.

Breve descripción del proceso:

Reactor–clarificador.- Es un equipo del tipo contacto de sólidos donde un venturi ubicado en la entrada de agua al clarificador, permite mezclar el agua a tratar, los químicos agregados y se recircula lodo precipitado (carbonato de calcio, CaCO_3), para que estos cristales catalicen la reacción, y precipiten más rápidamente los nuevos cristales que se van formando.

Al agua se le agregan los siguientes reactivos químicos:

- Cal, para precipitar la dureza presente en el agua.
- Carbonato de sodio, para darle la alcalinidad faltante para poder precipitar la cantidad de dureza que se desea.
- Óxido de magnesio, para absorber la sílice presente en el agua.
- Cloruro férrico o sulfato de aluminio, como coagulante.
- Polielectrolito, como floculante.

(Las reacciones básicas se describen en el tema de "TEORIA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON LA COAGULACION", hoja No.90.)

Neutralización.- Dado que a la salida del carificador, el agua tiene un pH del orden de 10.5, el paso siguiente es una neutralización en un tanque de 30 minutos de tiempo de residencia, donde se agrega ácido clorhídrico (HCl), hasta llegar a un pH aproximado de 7.0. Para la dosificación del ácido se cuenta con transmisor de señal de pH.

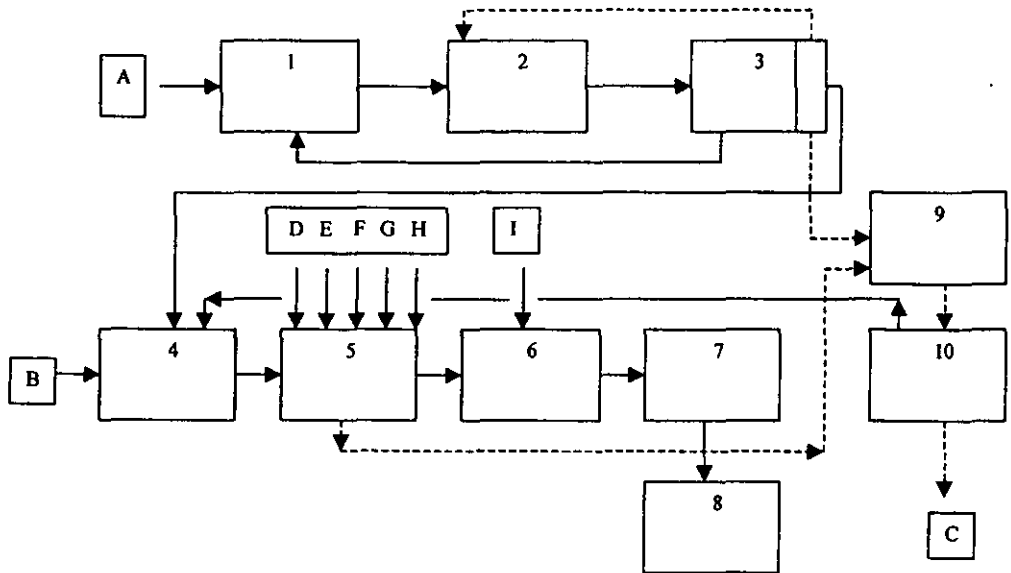
Filtración.- El agua neutra es bombeada a un sistema de filtración formado por dos filtros de arena lavados con agua y aire. El agua tratada es almacenada en un tanque de 10 m³ de capacidad, donde se tienen dos bombas de lavado de 40 m³/hr.

Tratamiento de lodos.- Los lodos generados en ambos tratamientos se enviarían a un tanque agitado de 6 horas de autonomía, de donde se bombean por medio de dos bombas neumáticas hacia un filtro prensa, obteniéndose por un lado el lodo deshidratado, y por otra parte, se genera un sobrenadante que se retorna al tanque de homogeneización que alimenta al tratamiento fisicoquímico.

El proceso fisicoquímico consiste de:

- + Reactor-clarificador.
- + Neutralización.
- + Filtración.

El diagrama consiste de:



de donde:

A.- Descarga al Río Florido.

F.- Oxido de magnesio.

B.- Descarga al Estanque de Riego.

G.- Sulfato de aluminio.

C.- Lodos deshidratados.

H.- Polielectrolito.

D.- Cal.

I.- Acido muriático (HCl).

E.- Carbonato de sodio.

y además:

1.- Tanque separador de aceite.

Equipo para tratar hasta flujos de 20 GPM (4.5 m³/hr) y que consiste en:

+ Tubo coalescedor inclinado de 1/4".

+ Separación por gravedad.

+ Coalescedor tipo Micro-Matrix,

con dimensiones de (0.686m)(1.550m)(1.17m), con una capacidad del sistema de 250 galones (0.95 m³).

2.- Tanque anóxico.

A este le llegan, además, una recirculación del agua y lodos del tanque aeróbico. Debido a que a este tanque le llega el efluente a tratar, la materia orgánica rápidamente consume el oxígeno disuelto y después encuentra como única fuente de oxígeno, la presente en los nitratos, y al suceder esto, reduce los nitratos a nitrógeno elemental, que es eliminado por diferencia de densidades.

3.- Tanque aeróbico (unidad paquete).

Capacidad de tratamiento de 37,500 litros por día (1.56 m³/hr).

Unidad compacta que incluye una zona de aereación y una de clarificación. Cuenta con dos sopladores para el suministro de aire para la aereación y un sistema de reciclado de lodos en la zona de clarificación.

Zona de aereación.- Tiene paredes cilíndricas montadas horizontalmente sobre dos bases que la soportan, con capacidad suficiente para tener un tiempo de retención en el orden de las 24 horas para el flujo mencionado. En la parte superior del tanque se montan dos sopladores de aire que se encargan de suministrar el aire para degradar la materia orgánica presente en el agua negra. El agua se distribuye por medio de un cabezal que se deriva hacia los difusores de aire de burbuja media distribuidos a lo largo de esta zona. El agua que sale de esta zona pasa directamente hacia la zona de clarificación. Una parte del agua es recirculada al tanque anóxico.

En este tanque aeróbico, además de remover la materia orgánica presente en el efluente, todo el nitrógeno presente es oxidado a nitratos, por lo que el agua que recircula al anóxico tiene oxígeno disuelto y alta concentración de nitratos.

4.- Tanque de homogeneización.

Homogeneiza las aguas provenientes del proceso biológico, con los de la descarga al Estanque más el sobrenadante del filtro prensa.

5.- Reactor-clarificador.

Equipo del tipo contacto de sólidos donde un venturi ubicado en la entrada de agua al clarificador permite mezclar al agua a tratar los reactivos químicos agregados y se recircula lodo precipitado (CaCO_3), para que estos cristales catalicen la reacción y precipiten más rápido los nuevos cristales que se van formando.

Los reactivos químicos por agregar son:

+ Cal, para precipitar la dureza.

+ Carbonato de sodio, para proporcionar alcalinidad para la precipitación de la dureza deseada.

+ Oxido de magnesio, para absorber la sílice.

+ Cloruro férrico o sulfato de aluminio, como coagulantes.

+ Polielectrolito, como floculante.

El equipo tiene 4 m de diámetro y cuenta con un transmisor de flujo que envía una señal para regular la cantidad de cada uno los reactivos.

6.- Tanque de neutralización.

El agua que sale del clarificador tiene un pH de alrededor de 10.5 y debe ser neutralizado con ácido clorhídrico (muriático) hasta pH 7 en este tanque de

neutralización, que tiene un tiempo de residencia de 30 minutos y está construido en acero al carbón recubierto de hule.

7.- Sistema de filtración.

El agua neutralizada es bombeada a un sistema de filtración formado por 2 filtros de arena lavados con agua y aire, de 1.8 metros de diámetro.

8.- El agua tratada es almacenada en un tanque metálico de 10 m³ de capacidad, donde se tiene 2 bombas de lavado de 40 m³/hr. El aire es suministrado por sopladores que tienen una capacidad de 140 m³/hr y 0.6 Kg/cm² de presión.

9.- Tanque de lodos.

Los lodos generados, se envían a un tanque agitado de 6 horas de autonomía, de donde se bombean por medio de 2 bombas neumáticas hacia el filtro prensa.

10.- Filtro prensa.

De este equipo se obtiene el lodo deshidratado para su disposición final, y además, un sobrenadante que se envía al tanque de homogeneización.

La calidad del agua tratada es la siguiente:

PARAMETRO	RIO FLORIDO	ESTANQUE DE RIEGO	AMBAS CORRIENTES
	calidad agua entrada	calidad agua entrada	calidad agua salida
grasas y aceites	40	10	< 10
boro	0.8	6.8	< 0.6
cadmio	0.01	0.03	despreciable
sólidos sedim.	0.0025	0	despreciable
conductividad	15,000	10,000	< 5,000
color	10	18	despreciable
temperatura	10	63	ambiente
pH	9.1	7.8	6-9
materia flotante	ninguna	ninguna	ausente
colif. totales	15,000	0	0
colif. fecales	1000	0	0
nitrógeno org.	400	0	0
nitrógeno total	2500	25	25
SST	400	5	< 5
DQO	200	80	< 20
fósforo total	3	2.5	< 1
DBO	90	30	< 10

COSTOS:

I) Para el Río Florido:

A) El costo unitario del agua tratada será de:

$$CU = \frac{\text{inversión}}{\text{gasto de agua a tratar}} = \frac{\$675,000}{3 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$25.68/\text{m}^3 \text{ anual}$$

B) Los costos de operación y mantenimiento incluyen entre otros al consumo energético del sistema, que es de 2.9 kwh aproximadamente y 3.2 kw/m:

$$\$25.68 \quad (0.03) = 0.7704$$

$$. \$675,000 (0.7704) = \$520,000 \text{ por año.}$$

II) Para el Estanque de Riego:

C) El costo unitario para el Estanque de Riego será de:

$$CU = \frac{\$570,000}{20 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$3.25/\text{m}^3 \text{ anual}$$

D) Los costos de operación y mantenimiento incluyen, entre otros, los siguientes gastos de productos químicos y energía eléctrica:

producto	dosificación Kg/m ³ de A.T.	costo \$/Kg	costo \$/m ³	costo anual \$/m ³
cal	0.78	1.00	0.78	136,656
carbonato de sodio	0.84	3.80	3.192	559,238
óxido de magnesio	0.060	9.55	0.573	100,390
coagulante (sulfato de aluminio)	0.035	2.28	0.0798	14,000
polímero	0.0012	25.00	0.03	5,256
energía eléctrica	0.18 Kw/m ³	\$0.35744/Kw	0.0643	11,265
TOTAL	--	--	--	826,805

ALTERNATIVA 2.3.-

El tercer proyecto, consiste de un tratamiento de filtración rápida de grava y arena, digestores anaerobios y ósmosis inversa con un costo estimado de suministro e instalación de \$1'100,000.00. Los costos de operación variarían de \$30.00 a \$40.00 por metro cúbico de agua tratada.

La digestión anaerobia elimina la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), grasas de origen vegetal, detergentes, etc.

Los filtros de grava y arena tienen como función, proporcionar un postratamiento a los efluentes de los procesos biológicos y eliminan básicamente turbiedad, coliformes y sólidos en suspensión, dando una mejor apariencia al agua residual

tratada. También, prepararían—optativamente—a las aguas para el caso de darles un tratamiento terciario terminal, a base de ósmosis inversa.

Con estos parámetros fisicoquímicos-biológicos eliminados, si el agua se somete a ósmosis inversa, se le eliminarían las sales minerales inorgánicas remanentes.

Este proyecto tiene tres posibilidades:

1.- TRATAMIENTO DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES AL RIO FLORIDO.-

Con este trabajo la calidad de la descarga, cumpliría con las condiciones establecidas en la NOM-001-ECOL-1996.

Breve descripción del proceso:

Una vez eliminados los sólidos gruesos como basuras, estopas, etc., al igual que un mínimo de grasas y aceites, en un sistema de pretratamiento, el efluente de este es enviado a un tanque de homogeneización, del cual el agua pasa al reactor o digester anaerobio de flujo ascendente de lecho fluidizado (empacado). El líquido saliente del reactor es trasladado a los filtros rápidos de grava y arena (postratamiento). Al final del proceso, al agua inicial se le habrán eliminado contaminantes tales como grasas y aceites, nitrógenos, materia orgánica, turbiedad, coliformes, sólidos en suspensión, etc.

El tratamiento propuesto consiste de:

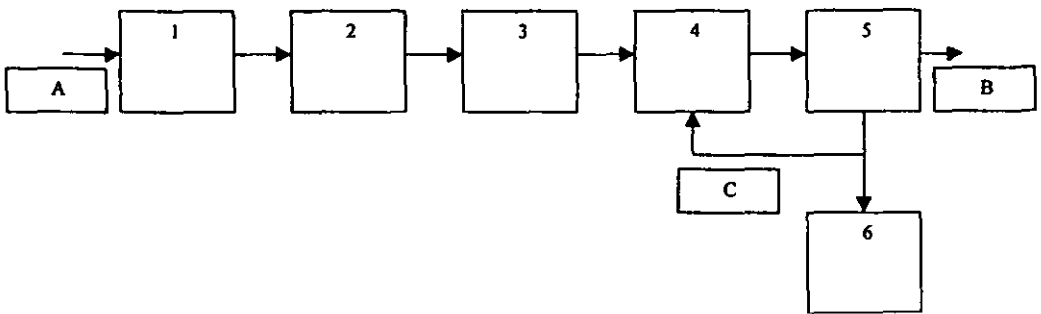
- + Obra de captación.
- + Línea de conducción.
- + Línea de disposición de aguas tratadas.

+ Tratamiento biológico secundario.

+ Pulimiento de agua tratada, por medio de filtro rápido de grava y arena.

El área requerida es de 100 m² de construcción.

El diagrama de flujo sería el siguiente:



de donde:

A) Alimentación de agua residual sin tratar.

B) Descarga final de agua tratada.

C) Línea de lodos.

1.- Pretratamiento a base de cribas, desarenadores, etc.- Procesos físicos, químicos y biológicos que sirven para cambiar las características de las aguas residuales, acondicionándolas para efectuar un tratamiento subsecuente o para su disposición final.

2.- Cárcamo de bombeo.

- 3.- Tanque de homogeneización, para amortiguar las fluctuaciones de flujo y carga de contaminantes. Uniformiza tales parámetros.
- 4.- Digestión anaerobia a base de un reactor de lecho fluidizado.
- 5.- Filtro rápido de grava y arena, con tanque de retrolavado y almacenamiento.
- 6.- Lechos de secado.

La calidad del agua después del tratamiento, se analiza en esta tabla comparativa:

parámetro	calidad agua entrada	calidad agua salida
grasas y aceites	40	~ 20
boro	0.8	~ 0.6
cadmio	0.01	despreciable
sólidos sedimentables	0.0025	0.0
conductividad	15,000	~ 12000
color	10	0
temperatura	10	ambiente
pH	9.1	~ 7.0
materia flotante	Ausente	ausente
coliformes totales	15,000	~ 750
coliformes fecales	1000	~ 50
nitrógeno orgánico	400	~ 20
nitrógeno total	2500	~ 300
SST	400	~ 40
DQO	200	~ 50
fósforo total	3	~ 1
DBO	90	~ 10

El costo unitario del agua tratada es de:

$$CU = \frac{\text{inversión}}{\text{gasto de agua tratada}} = \frac{\$250,000}{3.0 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$9.51/\text{m}^3 \text{ anual}$$

Costos de operación y mantenimiento.- Si estos representan el 3.0% de la inversión total anualizada:

$$\begin{aligned} \$9.51/\text{m}^3 \text{ anual} (0.03) &= 0.2853 \\ \$250,000 (0.2853) &= \$71325/\text{año} \end{aligned}$$

2.- TRATAMIENTO A LA DESCARGA AL ESTANQUE DE RIEGO.-

La calidad del agua de la descarga del tratamiento garantiza:

- Cumplimiento con la NOM-001-ECOL-1996.
- Apropiada para uso agrícola.
- Apropiada para enfriamiento.

El área requerida es de unos 200 m² de construcción.

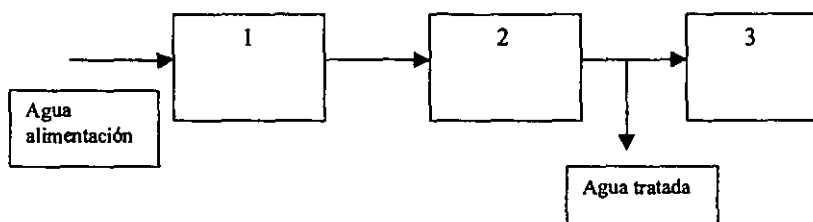
Breve descripción del proceso:

A la descarga de aguas residuales "Estanque de Riego" se le efectúa un pretratamiento para eliminarle las mínimas impurezas físicas que lleva consigo, ya que es un agua con trazas de sólidos en suspensión. Después de esto, este efluente se envía solo- o se junta con el del tratamiento de la descarga al Río Florido- para enviarse al equipo de ósmosis inversa, en donde las sales minerales se eliminan hasta en un 90%, por medio de un proceso de filtración del agua problema a través de membranas y bajo presión.

El tratamiento consiste de:

- + Obra de toma.
- + Línea de conducción a tratamiento.
- + Línea de disposición de agua tratada.
- + Tratamiento fisicoquímico–biológico.
- + Pulimiento del agua tratada.

El diagrama de flujo sería el siguiente:



de donde:

- 1.- Sistema de pretratamiento.
- 2.- Osmosis inversa.
- 3.- Lodos.

Es un proceso que consiste en filtrar bajo presión al agua problema a través de membranas y tiene una eficiencia de operación del 90% o más en la eliminación de sales. Con este tratamiento la calidad final del agua podría llegar hasta un nivel de poco contenido de sales inorgánicas (inferiores a las del pozo-suministro). Se tendría que decidir sobre su punto de control final. En un momento dado, se podrían hacer mezclas entre esta calidad y la del pozo y tener un agua mejor que la

actual, o bien, mezclar una parte del influente de ósmosis (intercambio iónico) con su efluente para contar con agua de calidad deseada.

Los costos del tratamiento son los siguientes.

Si la inversión inicial es de \$670,000 para un flujo de 20 m³/hr, el costo unitario de agua tratada es de:

$$CU = \frac{\$670,000}{20 \text{ m}^3/\text{hr}} = \frac{\$670,000}{175,000 \text{ m}^3/\text{año}} = \$3.82/\text{m}^3 \text{ anual}$$

Los costos de operación y mantenimiento están referidos a un 3% de la inversión total anualizada.

$$\$3.82/\text{m}^3 \text{ anual} (0.03) = 0.1146$$

$$\$670,000 (0.1146) = \$20,100/\text{año}$$

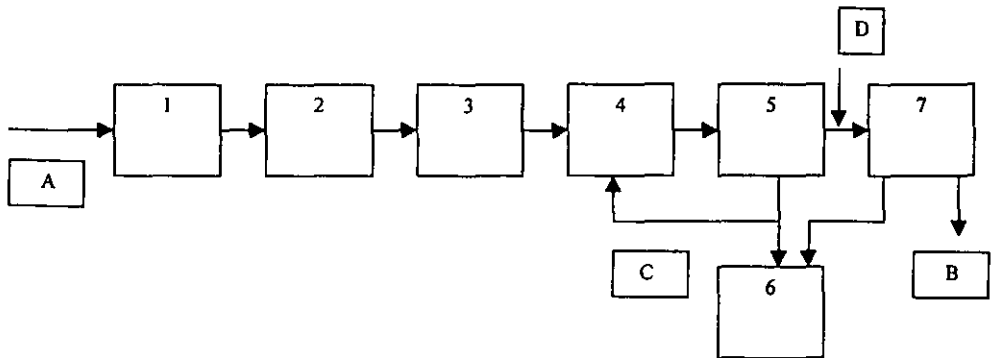
A continuación se presenta una tabla comparativa de las calidades de las aguas, tanto a la entrada como a la salida del tratamiento:

parámetro	calidad agua entrada	calidad agua salida
grasas y aceites	10	~ 1
boro	5.8	~ 1
cadmio	0.03	~ 0
sólidos sedimentables	0	0
conductividad	10,000	< 1500
color	18	~ 0
temperatura	63	ambiente
pH	7.8	~ 7.0
materia flotante	ausente	ausente
coliformes totales	0	0
coliformes fecales	0	0
nitrógeno orgánico	0	0
nitrógeno total	25	~ 20
SST	5	~ 1
DQO	80	~ 60
fósforo total	2.5	~ 1.5
DBO	30	~ 20

3.- TRATAMIENTO DE LAS DOS DESCARGAS EN CONJUNTO PARA SU POSIBLE REUSO EN LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.-

El alcance de este proyecto es la suma de los dos procesos anteriores.

El diagrama de flujo sería el siguiente:



de donde el proceso es semejante al anterior (1.-), pero con la adición del sistema de tratamiento terciario de ósmosis inversa (7). La alimentación es agua de enfriamiento (D).

Los costos para los dos procesos en conjunto son los siguientes:

- El costo inicial de inversión es aproximado a los \$1'500,000.00.
- El costo unitario de agua tratada es de \$8.56 por metro cúbico anual.
- Los costos de operación y mantenimiento, involucra a un costo de \$20 a \$30 por m³ de agua tratada, que representan un costo promedio del orden de los \$4'500,000.00 anuales.

La calidad del agua a la salida de estos dos procesos en conjunto sería la siguiente:

parámetro	calidad agua de Río Florido	calidad agua de Estanque de Riego	calidad agua salida dos procesos
grasas y aceites	40	10	~ 20
boro	0.8	6.8	< 1.0
cadmio	0.01	0.03	despreciable
sólidos sediment.	0.0025	0	0
conductividad	15,000	10,000	~ 1500
color	10	18	~ 0
temperatura	10	63	ambiente
pH	9.1	7.8	~ 7.0
materia flotante	ninguna	ninguna	ninguna
coliformes totales	15,000	0	~ 750
coliformes fecales	1000	0	~ 50
nitrógeno orgánico	400	0	~ 20
nitrógeno total	2500	25	< 40
SST	400	5	~ 40
DQO	200	80	~ 100
fósforo total	3	2.5	~ 0.5
DBO	90	30	~ 10

¿Cual sería la calidad del agua residual tratada estimada, después de estos tres procesos de purificación?:

Es posible obtener agua reciclada semejante a la de un agua de pozo (en apariencia), con la ventaja de que el contenido de contaminantes– entre ellos las sales– sería mucho menor y mejor.

La selección final dependerá de la calidad final deseada de agua, de las consideraciones de permisos oficiales, además de los económicos (el costo de cada uno de los 3 tratamientos son similares y se encuentran alrededor de los \$1'100,000.00 a \$1'500,000 más costos de operación y mantenimiento).

A continuación, se presentan 4 tablas donde se resumen los costos y calidades de las alternativas de tratamientos para las dos descargas de aguas residuales:

COSTOS	RIO FLORIDO						
	alt. 1.1	alt. 1.2	alt- 1.3		alt- 2.1	alt. 2.2	alt. 2.3
costo de inversión (\$)	500,00	----	50,000		----	675,000	250,000
costo unitario (\$/m ³ anual)	2.85	----	1.90		----	25.68	9.51
costo de op. y mantto. (\$/año)	42,750	181,000	2,850		----	520,000	71,325

COSTOS	ESTANQUE DE RIEGO		
	alternativa 2.1	alternativa 2.2	alternativa 2.3
costo de inversión (\$)	----	570,000	670,000
costo unitario (\$/m ³ anual)	----	3.25	3.82
costo de op. y mantto. (\$/año)	----	826,805	20,100

COSTOS	AMBAS CORRIENTES		
	alternativa 2.1	alternativa 2.2	alternativa 2.3
costo de inversión (\$)	----	570,000	670,000
costo unitario (\$/m ³ anual)	----	3.25	3.82
costo de op. y mantto. (\$/año)	----	826,805	20,100

PARAMETRO	RIO FLORIDO						
	calidad agua entrada	calidad agua salida					
		alt. 1.1	alt. 1.2	alt. 1.3	alt. 2.1	alt. 2.2	alt. 2.3
grasas y aceites	40			~ 20	20	20	~20
boro	0.8				~ 0.6	~ 0.6	~ 0.6
cadmio	0.01				desprec.	desprec.	desprec.
sólidos sedimentables	0.0025				0	0	0
conductividad	15,000				~ 12,000	~ 12,000	~ 12,000
color	10				0	0	0
temperatura	10				ambiente	ambiente	ambiente
pH	9.1				~ 7.0	~ 7.0	~ 7.0
materia flotante	ninguna				ausente	ausente	ausente
coliformes totales	15,000	< 1000			~ 1000	~ 1000	~ 750
coliformes fecales	1,000	< 50			~ 100	~ 100	~ 50
nitrógeno orgánico	400				~ 50	~ 50	~ 20
nitrógeno total	2,500		~ 300		~ 300	~ 300	~ 300
SST	400	< 150			~ 40	~ 40	~ 40
DQO	200				~ 50	~ 50	~ 50
fósforo total	3				~ 1	~ 1	~ 1
DBO	90	< 10			~ 10	~ 10	~ 10

PARAMETRO	ESTANQUE DE RIEGO			
	calidad agua entrada	calidad agua salida		
		alternativa 2.1	alternativa 2.2	alternativa 2.3
grasas y aceites	10	~ 1	~ 1	~ 1
boro	6.8	~ 1	~ 1	~ 1
cadmio	0.03	~ 0	~ 0	~ 0
sólidos sedimentables	0	0	0	0
conductividad	10,000	1500	~ 2000	~ 1500
color	18	~ 0	~ 0	~ 0
temperatura	63	ambiente	ambiente	ambiente
pH	7.8	~ 7.0	6-9	~ 7.0
materia flotante	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
coliformes totales	0	0	0	0
coliformes fecales	0	0	0	0
nitrógeno orgánico	0	0	0	0
nitrógeno total	25	~ 20	~ 5	~ 20
SST	5	~ 1	~ 1	~ 1
DQO	80	~ 60	~ 50	~ 60
fósforo total	2.5	~ 1.5	~ 2.0	~ 1.5
DBO	30	~ 20	~ 20	~ 20

PARAMETRO	AMBAS CORRIENTES				
	calidad agua entrada		calidad agua salida		
	Río Florido	Est. de Riego	alternativa 2.1	alternativa 2.2	alternativa 2.3
grasas y aceites	40	10	< 20	< 10	< 20
boro	0.8	6.8	< 0.5	< 0.6	< 1.0
cadmio	0.01	0.03	despreciable	despreciable	despreciable
sólidos sedimentables	0.0025	0	0	0	0
conductividad	15,000	10,000	~ 1500	5000	~ 1500
color	10	18	~ 0	~ 0	~ 0
temperatura	10	63	~ 30	ambiente	< 30
pH	9.1	7.8	7.0	6-9	7.0
materias flotantes	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
coliformes totales	15,000	0	~ 750	0	~ 750
coliformes fecales	1000	0	~ 50	0	~ 50
nitrógeno orgánico	400	0	~ 20	0	~ 20
nitrógeno total	2,500	25	< 40	25	< 40
SST	400	5	< 40	< 5	< 40
DQO	200	80	< 100	< 20	< 100
fósforo total	3	2.5	~ 1	< 1	~ 1
DBO	90	30	< 50	< 10	< 10

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

1.- Es conveniente continuar con las mejoras operativas dentro de la Unidad para reducir aun más los contaminantes básicos, para que el costo de los \$5000.00-\$6000.00 trimestrales a CONAGUA se minimicen. En caso de optar por un tratamiento, como el contenido de impurezas contaminantes serían menores, el costo de este también lo sería. Los trabajos de mejoras se pueden enlistar en:

- + Reducir o minimizar los tiraderos de aceites de las máquinas principales, mediante la aplicación de recolectores neumáticos, rehabilitación y reuso de aceites en otras operaciones de menor exigencia de calidad, etc.

- + Implantación de sellos mecánicos para evitar la fuga de amoníaco de las máquinas y bombas que lo manejan.

- + Efectuar más continuamente la limpieza de las fosas sépticas actualmente en uso, para mejorar su baja eficiencia, y con esto reducir el contenido de coliformes en las aguas residuales. Se sabe que las fosas actúan como un tratamiento primario y secundario.

- + Controlando estos puntos, también se minimizarían los niveles de DBO y DQO.

2.- Si se analiza desde el punto de vista económico, pudiera considerarse más viable seguir pagando la cuota trimestral a CONAGUA para descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores de la Nación tipo "A" autorizados, tanto al Río Florido, como al Estanque de Riego, en vez de seleccionar un tren de tratamiento, ya sea parcial o total.

En la actualidad, los \$5000.00-\$6000.00 trimestrales como pagos únicos del derecho de descarga de las aguas residuales (en el capítulo de las características del agua de pozo se puntualizó la derogación de los pagos de extracción, por su alto contenido de sólidos disueltos) no se comparan con los \$1'100,000.00 que podría costar cualquier de los tres tratamientos totales propuestos, ya que para cubrir esta cantidad, se requerirían de más de 30 años para amortizar su costo.

Hace apenas 3 años (1996), cuando todavía se pagaba el derecho de extracción (aproximadamente \$250,000.00 trimestrales) y sí era factible económicamente instalar una obra anticontaminante y de reciclaje de aguas residuales. De hecho, podría considerarse una obligación técnica.

3.- Pero partiendo de una conciencia técnica, ecológica y social, cabría pensar en la opción de la instalación de un sistema para el tratamiento de las dos descargas de aguas residuales de la Unidad Camargo de Grupo Real del Monte, S.A. de C.V. En fechas recientes se está visualizando de esta forma. El juicio final se dirigiría a escoger el mejor tratamiento.

De una auditoría de PROFEPA en el año de 1997, se convino en la instalación de sistemas de tratamiento para la reducción del parámetro "Nitrógeno amoniacal", y esto se tiene que realizar en 1999-2000; de esta forma se podría disponer eliminar o minimizar los demás contaminantes, por lo que no debe extrañar que en un corto tiempo se haga algo al respecto. Con esta instalación que serviría para el reciclaje de las aguas residuales (después de su tratamiento) a los sistemas de enfriamiento, nos traería los siguientes beneficios:

+ Ayudar a minimizar los flujos actuales de extracción, con lo cual el manto freático correría menos riesgo de agotarse; aparte que la calidad del agua podría ser mucho mejor a la del suministro actual, en lo referente a las sales minerales inorgánicas.

+ Se contaría con los beneficios del Artículo 282-C de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1997-1999) al mejorar el tipo de calidad de la descarga (reuso) y al implementar obras anticontaminantes de las aguas residuales.

+ En tiempos presentes, los terrenos de la Unidad (sobre todo al norte geográfico) están siendo rodeados por terrenos particulares, por lo que hace cada día más difícil descargar las aguas al Río, donde éstas podrían afectar, tanto a dichos terrenos agrícolas, como al ganado que pasta por las cercanías, y así mismo, a la flora y fauna en general. Con el tratamiento se evitarían estos problemas.

+ Referente al Estanque de Riego, al instalarse un proceso de reciclo, no se descargarían a este los 18-20 metros cúbicos de agua caliente y con tantos sólidos minerales, por lo que dicha zona de la Unidad no estaría en peligro a causa de la salinidad, pues como quedó anotado arriba, esta llega a los niveles de "alta salinidad" (C4S4).

No se debe de olvidar la posibilidad de reusar (después de un debido acondicionamiento) el agua residual del Estanque de Riego en fines agrícolas para cultivos que resistan a los sólidos disueltos, sulfatos y el RAS, que son los parámetros más impactantes de esta descarga. La Unidad cuenta con suficiente terreno disponible. También, se puede reusar el agua como abrevadero.

4.- En virtud de que las 3 opciones de tratamiento completo, ofrecen buen nivel de calidad del agua de recirculación (reuso), tanto cualitativo como cuantitativo, y además, los costos iniciales son semejantes, la decisión final estará dirigida sobre los juicios de los costos operativos y de mantenimiento, de lograr los permisos de CONAGUA, etc.

Recuérdese que en el caso del tratamiento fisicoquímico con ósmosis inversa, se tendría que puntualizar sobre el nivel de calidad deseada de agua y que se podría dar el caso de tener hasta un agua calidad potable y aquí cabría el mezclar esta agua con la del suministro, para contar con la selección predeterminada.

5.- Se observa que un tratamiento global sería más viable técnica-ecológicamente que el parcial (unitario) al eliminar los coliformes, grasas y aceites, nitrógenos y sólidos en suspensión en forma conjunta que en forma aislada.

6.- La importancia del agua no cesa de crecer y su abastecimiento cada día es más difícil, tanto por el aumento de la población, como la industria, así como por su escasez. Cuanto más disminuye la calidad del agua, más importante y necesario es acondicionarla mediante un proceso correspondiente específico, con sus controles respectivos.

Dentro de algunos años (para el 2010), la normatividad oficial obligará de alguna forma, actuar en consecuencia, en pro de un acondicionamiento de las aguas residuales, siendo uno de los métodos, el de reducir el pago del derecho de acuerdo a la disminución de contaminantes en las descargas, esto es a través de un programa de acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas. Es mejor ir trabajando con sentido común al respecto.

Cualquier tratamiento de aguas residuales para su reuso es mucho mejor que el hecho de optar por desperdiciarla ociosamente, dejándola que se infiltre sin sacarle mejor provecho.

En esta región de la República Mexicana, el agua escasea enormemente, y siendo sus niveles normales de humedad relativa del 45-47%, su tipo del suelo semipermeable, y su índice de evaporación del 6%, es necesario cuidar y aprovechar al máximo este vital líquido una vez que se ha extraído.

7.- Debido al conocimiento de los efectos dañinos de los múltiples contaminantes en las aguas residuales industriales, la legislación es cada día más estricta. La industria debe de pagar por el tratamiento residual, aunque estos costos lo tenga que pagar el cliente finalmente en la compra del fertilizante. En la modernidad, el aspecto ecológico, es muy importante para que una empresa sea competitiva y subsista a las presiones tanto laborables, como sociales de la comunidad. El agua es esencial en la industria y al considerarla un recurso vital natural, lo mínimo que se tiene que hacer es cuidarla.

8.- Por último y en respuesta fundamental al título de este trabajo de tesis, se puede concluir que sí es factible llevar a cabo un proyecto de tratamiento de aguas residuales de las descargas de esta Unidad Industrial para su reuso en los sistemas de enfriamiento. Esta factibilidad se basa en un contexto global en los aspectos económicos, técnicos, ecológicos y sociales. Se recomienda su realización.

BIBLIOGRAFIA

1.- Manual de operación de la planta de urea de la Unidad Camargo.

C & I / Girdler International Latin America, LTD

Nassau, Bahamas.

2.- Fertilizer manual.

International Fertilizer Development Center.

United Nations Industrial Development Organization.

3.- Bitácoras de Operación y de Laboratorio.

4.- Apuntes sobre Contaminación Ambiental y su Control.

Fertilizantes Mexicanos, S.A.

Noviembre de 1985.

5.- Permiso para Descargar Aguas Residuales y se Fijan Condiciones Particulares en Descarga al Río Florido.

Fertilizantes Mexicanos, S.A., Unidad Camargo.

Agosto de 1981.

6.- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (1997 a 1999).

Comisión Nacional del Agua.

7.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, de fecha del 06 de enero de 1997 del D.O.F.

8.- Norma Oficial Mexicana NOM -127-SSA1-1994, de fecha del 18 de enero de 1996 del D.O.F.

9.- Curso abierto sobre "Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y reusos".

Facultad de Ingeniería.

UNAM.

División de Educación Continua, 1992.

10.- Tratamiento de aguas residuales.

R.S. Ramalho.

Ed. Reverté, S.A.

11.- Manual del agua.

Naico Chemical Company.

Mc Graw – Hill.

12.- Tratamiento biológico de aguas de desecho.

Michael Winkler.

Editorial Limusa.

13.- Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.

Fair, Geyer y Okun.

Ed. Limusa–Noriega.

14.- Manual de Tratamiento de aguas.

Departamento de sanidad del Estado de Nueva York.

Ed. Limusa.

15.- Manual de aguas para usos industriales.

American Society for Testing and Materials.

Ed. Limusa.

16.- Tratamiento de aguas negras y desechos industriales.

George E. Barnes.

Manuales UTEHA, número 337/doble.

17.- Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos.

Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. (1993).

18.- Notas escolares.

19.- Propuestas de proyectos (3) para tratamientos de las aguas residuales de la Unidad Camargo.