



UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A.C.



ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**"ESTRATEGIA OPERATIVA UTILIZANDO AGUA
SUBTERRÁNEA POR INTERRUPCIÓN EN SUMINISTRO
DE AGUA SUPERFICIAL EN PEMEX PETROQUÍMICA
COMPLEJO CANGREJERA"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

JOSÉ AUGUSTO CADENA LARA

ASESOR DE TESIS:

ING. SUSANA ELVIRA GONZÁLEZ CARRASCO

COATZACOALCOS, VERACRUZ.

FEBRERO 2016.



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.

DEDICATORIA.

Esta tesis la dedico con todo mi cariño a mis padres, *Alejandro Flores García* y *Leticia Antonio Rodríguez* por darme la vida y estar conmigo incondicionalmente. Gracias por todo el apoyo papá y mamá, por darme una carrera y un futuro, por creer en mí, por apoyarme en los momentos difíciles y darme todo su amor. Los quiero con todo el corazón y este trabajo es para ustedes.

También dedico este trabajo para los que ya no están conmigo y se adelantaron con nuestro señor Dios, a mi *Abuelo Filomeno Antonio, Primo Raúl Alberto Antonio Lastra* y *Tía Berenice Lastra*, saben que siempre los llevaré en el corazón y recordándolos por su forma alegre de ser.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a **Dios** por permitirme seguir con vida y bendecirme día a día.

Agradezco a cada uno de mi **Gran Familia** por estar conmigo en todo momento y brindarme el apoyo hacia mi persona.

Agradezco a mi hermana **Ofelia del Rocío Flores Antonio** por brindarme su cariño y felicidad en todo momento junto con mis sobrinas **Andrea Berenice, Carolina y Mónica Sulvarán Flores**.

Agradezco al **Ingeniero Esteban Sulvarán Bernal** por compartirme su conocimiento y su experiencia profesional.

Agradezco al **Licenciado Ezequiel Antonio López** por brindarme su apoyo incondicional durante el periodo de desarrollo de mi tesis

Agradezco al **Ingeniero José Manuel Ortiz Sánchez** por sus consejos profesionales y brindarme la oportunidad de laborar junto con él.

Agradezco al **Ingeniero José Eduardo Williams** por su asesoría profesional en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al **Ingeniero Raúl Ortega Dante** de igual manera por su asesoría profesional en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al **Ingeniero Aldo Rubén** por sus recomendaciones para mejorar el concepto de tesis.

Agradezco a mis **Compañeros de Celanese Mexicana Complejo Cangrejera**, por permitirme desarrollar esta tesis durante el tiempo que laboré con ustedes.

Agradezco al **Señor Jorge Alor García** por compartir sus conocimientos e información para desarrollar este trabajo.

Agradezco al ***Señor José Antonio Cruz Delfín*** por compartir sus conocimientos y dar ejemplo de disciplina laboral.

Agradezco a la ***Ingeniero Lucía Natalí Herrera Utrera*** por brindarme su amistad e impulso para elaborar esta tesis.

Agradezco al ***Ingeniero Roberto Trujillo Andrade*** por compartir su información técnica para desarrollar mi tesis.

Agradezco a la ***Licenciada Xóchitl López de la Cruz*** por darme la oportunidad de conocerla y compartir tus ideales.

Agradezco a la ***Licenciada Leticia Grajeda*** por brindarme su amistad y su apoyo durante los momentos difíciles.

Por último agradezco a todas aquellas personas que de alguna u otra forma colaboraron en la realización de esta tesis, muchas gracias por todo.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	iv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	v
OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS	vi
HIPÓTESIS	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. Generalidades	5
1.1 La importancia del agua	6
1.1.1 Panorama del agua en México	7
1.2 Propiedades del agua	9
1.3 Tipos de aguas	10
1.4 Ciclo hidrológico del agua	13
1.5 Impurezas en el agua para uso industrial	15

1.6 Terminología para el tratamiento de aguas	20
1.6.1 Control de corrosión	22
1.6.2 Prevención de depósitos	25
1.6.3 Control microbiológico	26
CAPÍTULO II. Descripción de procesos en servicios auxiliares	28
2.1 Clarificación	29
2.1.1 Coagulación	30
2.1.2 Floculación	30
2.1.3 Sedimentación	31
2.2 Filtración	32
2.3 Sistema de tratamiento de agua cruda o superficial en planta	33
2.4 Desmineralización	35
2.4.1 Intercambio iónico	35
2.5 Sistema de desmineralización en planta	37
2.6 Sistemas de enfriamiento	39
2.6.1 Torres de enfriamiento	40
2.6.2 Tipos de torres de enfriamiento	41
2.7 Sistema de torres de enfriamiento en planta	44
2.8 Sistema de distribución de agua de servicios en planta	46
CAPÍTULO III. Evaluación de contingencia en servicios auxiliares	48
3.1 Descripción de problema	49
3.2 Estrategia aplicada por falla en suministro de agua superficial en el año de 2006.	51
3.3 Posibles alternativas en caso de contingencia	52
3.3.1 Alternativa No.1. Suministro con agua subterránea al tanque de almacenamiento de agua superficial	53
3.3.2 Alternativa No. 2. Suministro con agua subterránea al sistema de desmineralización	59
3.3.3 Alternativa No. 3. Suministro con agua subterránea a los sistemas de torres de enfriamiento y agua de servicios	64

CONCLUSIONES	69
PROPUESTA	72
ANEXOS	75
GLOSARIO	104
BIBLIOGRAFÍA	108
REFERENCIAS EN INTERNET	110

JUSTIFICACIÓN.

Esta investigación se llevó a cabo debido a que es necesario establecer y difundir un cambio en la gestión operativa, donde se mencionen los movimientos estratégicos para cumplir y mantener la operación normal el mayor tiempo posible durante el escenario por interrupción en el suministro de agua superficial en la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, en base a estimaciones y datos históricos de consumos de agua clarificada y análisis en base a tratamientos de agua, que permitan crear una estrategia confiable y estándar de aplicar, de manera que el personal involucrado tenga una mejor perspectiva del problema y trabajar en coordinación adecuada durante este evento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las repetitivas interrupciones en el suministro de agua de superficial por la Comisión Nacional del Agua (CNA) hacia la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, ocasionan discrepancias en los tiempos disponibles de operación normal con agua almacenada; por lo que, estos escenarios llevan a preguntarse al usuario si existirá una manera de combatir esta emergencia en base a movimientos operativos y coordinación en quipo en planta generadora de Servicios Auxiliares y si es posible utilizar otros recursos disponibles para incrementar el tiempo de espera en lo que se habilita el suministro de agua superficial por CNA.

El estudio para crear una estrategia adecuada para esta emergencia, se limitará a los recursos de suministros de agua de subterránea, agua superficial y clarificada almacenadas en la planta y a la química del agua en base a tratamientos de agua.

Por otra parte serán analizados los diversos sistemas de tratamientos de agua los cuales se verán impactados con el suministro de agua subterránea durante la emergencia.

OBJETIVO GENERAL.

- Maximizar el tiempo de operación en una casa de fuerza generadora de Servicios Auxiliares sin alterar variables que afecten la confiabilidad operativa de equipos; evitando paro general de la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera por interrupción en suministro de agua superficial hacia el mismo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Minimizar el consumo de agua superficial y clarificada almacenadas en planta generadora de Servicios Auxiliares en la Celanese Mexicana Complejo Cangrejera

- Determinar la prioridad de suministro de agua clarificada a los diferentes sistemas en la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.
- Establecer el procedimiento de operación planeada que deberán de seguir los operadores durante la emergencia.
- Establecer rutina de análisis químicos a los diversos sistemas de tratamientos de agua que se verán afectados durante la emergencia.

HIPÓTESIS.

¿La alimentación de agua subterránea a los sistemas de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios, minimizará el consumo de agua clarificada almacenada y maximizará el tiempo de espera por falta de agua superficial suministrada por Comisión Nacional del Agua hacia la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera?

INTRODUCCIÓN.

México es un país de grandes contrastes y carencias respecto al agua. La distribución del recurso es muy variable regionalmente, y se encuentra íntimamente ligada a la satisfacción de las necesidades sociales más básicas, puesto que la disponibilidad de agua en cantidad y calidad es una condición necesaria para hacer viable el desarrollo social, económico y ambiental de nuestro país.

En el tema del agua son especialmente visibles las implicaciones que tienen su preservación y cuidado actual respecto de su disponibilidad para las generaciones futuras. El agua se utiliza por medio de la infraestructura que hace posible su medición, extracción, conducción, potabilización, distribución, almacenamiento, recolección, tratamiento y descarga.

Esta infraestructura es operada por múltiples instituciones, y el uso del agua es realizado por todos y cada uno de los habitantes de nuestro país, haciendo del agua un tema verdaderamente transversal, interinstitucional y de interés universal para todos los mexicanos.

En lo que concierne al sector industrial las grandes cantidades de agua que se consumen hace que se establezcan órganos administrativos en México para el suministro y cuidado de el agua que es una vital fuente de energía, como se menciona en las garantías individuales de la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** establecido en el **Artículo 27** dice: *que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro los límites del territorio nacional, corresponden originariamente a la Nación, lo cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.*

Debido a lo anterior, el 1 de Diciembre de 1992 surge la **Ley de Aguas Nacionales** estableciendo en su **Artículo 1** que: *la presente Ley es reglamentaria al Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.*

Por estas razones, es necesario saber aprovechar esta fuente de energía al máximo, por lo que el ahorro de agua para las empresas día a día tiene que optimizarse, ya que estas dependen del uso de aguas gestionadas por la **Comisión Nacional del Agua** como se define en el **Artículo 3** de la **Ley de Aguas Nacionales** como: *órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, con funciones de derecho público en materia de gestión de las agua nacionales y sus bienes públicos inherentes, con autonomía técnica, ejecutiva, administrativa, presupuestal y de gestión, para la consecución de su objeto, la realización de sus funciones, y la emisión de los actos de autoridad que conforme a esta Ley corresponde tanto a ésta como a los órganos de autoridad a la que la misma se refiere.*

El objetivo de esta tesis es establecer una estrategia donde se minimice el consumo de agua disponible en la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera por interrupción en el suministro de agua superficial, mediante movimientos operativos

en los diferentes sistemas para evitar problemas de paros que afecten la producción de las plantas internas y la confiabilidad de los equipos. Debido a que existen riesgos o eventos indeseables, como por ejemplo: los riesgos ambientales que pudiese existir contaminaciones de agua superficial, fallas técnicas que interrumpen el suministro de agua, huelgas en planta de proveedor de agua, etcétera; que en ocasiones las industrias tienen mayor dificultad para predecir estos eventos que creando incertidumbre.

Para establecer una estrategia operativa confiable; se deberá conocer en que procesos se puede optimizar el consumo de agua y de una manera correcta; por lo que es importante obtener información de donde se obtiene esta fuente de energía que utilizamos, propiedades, impurezas para el sector industrial y terminología en tratamientos adecuados para la cual llamamos “agua”.

Se plasmarán brevemente los sistemas operativos de la planta generadora de Servicios Auxiliares que se verán afectados por la contingencia cuando se suspenda el suministro de agua superficial hacia la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, entre estos sistemas destacan un proceso de clarificación, desmineralización, de enfriamiento, sistema de agua de servicios y de distribución de agua contra incendio; mencionando la importancia de cada uno de ellos en la casa de fuerza generadora de Servicios Auxiliares de tal manera que se tenga una idea de la operación y principios básicos de estos; para cumplir con el objetivo sin afectar la calidad de los equipos en base a tratamientos de agua y procedimientos establecidos internamente, protegiendo la operación continua evitando pérdidas por paros no programados.

El problema se detecta desde el sistema administrativo del departamento de Servicios Auxiliares, ya que este no cuenta con un procedimiento en caso de una emergencia por falla en suministro de agua superficial por CNA (Comisión Nacional del Agua). Llegado el momento en de la contingencia se realizaron movimientos operativos donde había discrepancia en personal de guardia; ya que los responsables tomaban decisiones sin tomar en cuenta aspectos de confiabilidad de equipos, solo se le dio prioridad a que la producción debe de ser continua.

También se incluye una descripción del problema y estimaciones en base a consumos agua clarificada de los diferentes sistemas en planta, estableciendo los tiempos disponibles para mantener la operación en condiciones normales, por esta razón se decidió aplicar una estrategia emergente en el año 2006 y evitar paro no programado de plantas de producción en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

Derivado de lo anterior, en base a datos históricos de consumos de agua clarificada hacia los sistemas en planta, especificaciones de equipos y algunos términos en tratamientos de agua; se incluye un análisis de alternativas con uso del recurso de agua subterránea.

En estas alternativas, se crean escenarios en suministros de agua subterránea respecto a posibilidades en la distribución de la planta en movimientos operativos, estimando tiempos en base a consumos por año con agua superficial clarificada y el impacto que podría tener por usar agua subterránea con alta cantidad de impurezas disueltas referentes al uso industrial. En algunas alternativas las soluciones para minimizar el consumo de agua superficial clarificada son muy buenas, pero sin tomar en cuenta los efectos secundarios que podrían causar, por lo que se adjuntan gráficos en base a variables controladas relacionadas con tratamientos de agua en condiciones normales para justificar la importancia de la confiabilidad de los equipos.

Como resultado del análisis de las tres alternativas aplicables para la contingencia, se establecen conclusiones, mencionando sus aspectos positivos y negativos de cada una de ellas, donde se toman en cuenta los aspectos de ahorro de energía, seguridad, costos y confiabilidad de los equipos.

Finalmente de la mejor alternativa se establece una propuesta, aplicable para utilizar agua subterránea hacia los sistemas de la red de Agua de Servicios y Torres de Enfriamiento en caso de falla en suministro de agua superficial hacia la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, donde se estima el mejor tiempo disponible para ahorrar agua clarificada superficial y continuar operando sin afectar a los sistemas y equipos en la planta generadora de Servicios Auxiliares y plantas de producción.

Con esta estrategia operativa se pretende tener un plan emergente disponible cuando se repita el evento que permita atacar el problema a la brevedad con una gestión y procedimientos adecuados.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. La importancia del agua.

Desde el principio de los tiempos el agua ha sido importante para los seres vivos, sin temor a equivocarse podemos asegurar que la historia del agua es nada menos que la historia de la vida. Desde la antigüedad, el agua ha servido al hombre como fuente de alimentos, vía de comunicación y medio de higienes. Las grandes civilizaciones se desarrollaron en sitios donde el agua era el elemento importante y construyeron sistemas complejos de conservación y distribución para alcanzar su máximo aprovechamiento.

El agua cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante aunque solo es el 0.022% de la masa de la Tierra¹. Se puede encontrar esta sustancia prácticamente en cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El agua se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos. En forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en

los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius. Y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. El 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, un 1% está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra formando casquetes en las latitudes próximas a los polos².

Actualmente el agua es el elemento vital de la industria moderna, donde se utiliza como medio de intercambio de calor y transporte, fuente de energía y materia prima. Cada producto que utiliza el hombre representa el consumo industrial de variadas cantidades de agua, que en un conjunto juntan millones de litros cada día.

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocidas. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales. Por lo que es fundamental tener conciencia de cómo aprovechar este elemento en nuestro planeta y no desequilibrar la vida en todo el sentido de la palabra.

^{1,2} CNA. <http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>

1.1.1. Panorama del agua en México.

México presenta un marcado contraste territorial de escasez y abundancia de agua, ya que más de dos terceras partes de su territorio son áridas o semiáridas, principalmente en el norte y el centro, donde sólo ocurre el 28% del escurrimiento, mientras que el 72% restante se origina en el sureste del país. Tiene una población de aproximadamente 100 millones de habitantes, de los cuales casi 20 millones se concentran en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La disponibilidad por capital promedio de agua es de unos 5,000 m³/año. Sin embargo, los grandes demandantes del agua se encuentran ubicados en el norte y centro del país, donde el recurso es escaso, pero se concentra el 77% de la población y se genera el 84% del Producto Interno Bruto (PIB). En estas regiones se desarrollan importantes actividades económicas como la industria, el comercio y la exportación de bienes y servicios. Por su parte, en el sureste en donde existe agua en abundancia, vive sólo el 23% de la población nacional y se genera apenas el 16% del PIB³.

El número de conflictos por el uso del agua superficial en las zonas áridas y semiáridas del país ha ido en aumento. Lo mismo sucede con el agua subterránea,

cuya importancia resulta evidente si se considera que abastece al 70% de la población, la tercera parte de la superficie bajo riego y el 50% de la industria. La fragilidad de este recurso se pone de manifiesto por el hecho de que, de los 650 acuíferos identificados en el país, 102 están sobreexplotados (Figura 1.1.), es decir que durante muchos años se han extraído volúmenes mayores a la recarga natural.



Figura 1.1. Acuíferos sobreexplotados en México⁴.

La situación de escasez en muchas regiones del país se agrava por la contaminación del agua y en zonas de aparente abundancia la disponibilidad efectiva se reduce por la misma razón. Una de las principales causas de tal contaminación es el gran número de efluentes sin tratamiento provenientes de descargas de aguas residuales municipales, y de industrias, de comercios y de servicios. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 1.2., si bien más de la mitad del agua superficial está poco contaminada, cerca de la quinta parte no es apta para el consumo humano.

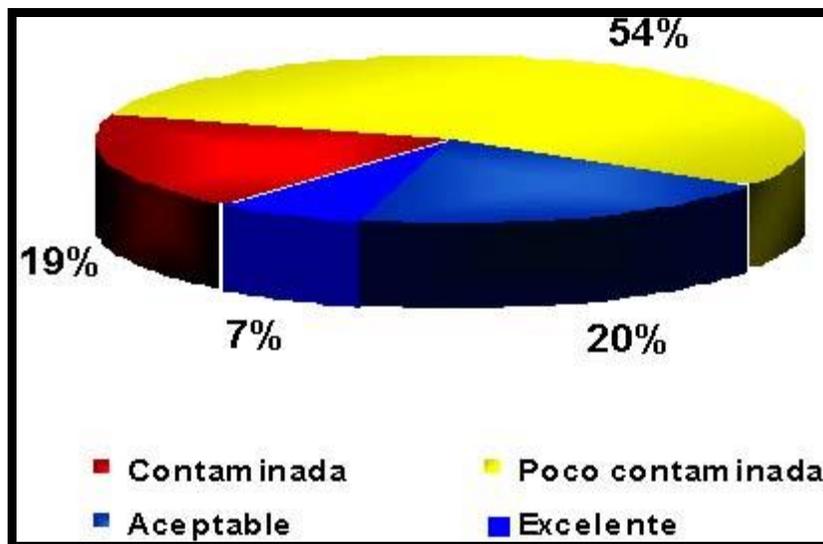


Figura 1.2. Calidad de aguas superficiales en México⁵.

Con la promulgación de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en 1992 inició una etapa nueva en la gestión de los recursos hídricos en México, que transforma a la Comisión Nacional del Agua (CNA) de un organismo constructor y operador de grandes obras hidráulicas, en una institución cuya principal responsabilidad es la de administrar el recurso⁶.

El reto para los próximos años es el de consolidar el sistema de administración de los derechos de agua, para compatibilizar el crecimiento económico y demográfico con la disponibilidad de agua, en el marco de un desarrollo sustentable. Para ello es indispensable insertar plenamente la administración de derechos de agua en la gestión de los recursos hídricos⁷. La única forma sustentable de abordar los problemas del agua en México es mediante una conjugación inteligente de medidas económicas, de orden y control, reglamentarias y participativas.

^{3, 4, 5, 6, 7} CNA. <http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>

1.2. Propiedades del agua.

El agua es el más importante de todos los compuestos y uno de los principales constituyentes del mundo en que vivimos y de la materia viva. La excepcional importancia del agua desde el punto de vista químico reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, como los que se realizan en el laboratorio, tiene lugar entre sustancias disueltas esto entre soluciones acuosas. Es un líquido constituido por dos sustancias gaseosas: oxígeno e hidrógeno, un volumen de oxígeno por 2 de hidrógeno; su fórmula química es el H₂O y es

considerada un disolvente universal, ya que es el líquido que más sustancias disuelve, lo que tiene que ver con que es una molécula polar. Las moléculas de agua están unidas por lo que se llama puentes de hidrógeno. A continuación se enlistan sus propiedades físicas y químicas.

- Presenta un punto de ebullición de 373 K (100 °C) a presión de 1 atm.
- Tiene un punto de fusión de 273 K (0 °C) a presión de 1 atm.
- El agua pura no conduce la electricidad (agua pura quiere decir agua destilada libre de sales y minerales)
- Es un líquido inodoro, incoloro e insípido. Estas son las propiedades organolépticas, es decir, las que se perciben con los órganos de los sentidos del ser humano.
- Se presenta en la naturaleza de tres formas, que son: sólido, líquido o gas.
- Tiene una densidad máxima de 1 g/cm³ a 277 K y presión 1 atm. Esto quiere decir que por cada centímetro cúbico (cm³) hay 1g de agua.
- Forma dos diferentes tipos de meniscos: cóncavo y convexo.
- Tiene una tensión superficial, cuando la superficie de los líquidos se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla y esta propiedad ayuda a que algunas cosas muy ligeras floten en la superficie del agua.
- Posee capilaridad, que es la propiedad de ascenso o descenso de un líquido dentro de un tubo capilar.
- La capacidad calorífica es mayor que la de otros líquidos.
- El calor latente de fusión del hielo se define como la cantidad de calor que necesita un gramo de hielo para pasar del estado sólido al líquido, manteniendo la temperatura constante en el punto de fusión (273 k).
- Calor latente de fusión del hielo a 0 °C: 80 cal/g (ó 335 J/g)
- Calor latente de evaporación del agua a 100 °C: 540 cal/g (ó 2260 J/g)

1.3. Tipos de aguas.

El agua no se encuentra en un solo lugar de la tierra sino esta en constante movimiento, por esta razón hay una serie de criterios para clasificar las aguas, nosotros tomaremos dos criterios. Las ***aguas superficiales y las subterráneas***.

El agua superficial conocida usualmente como *agua cruda*, esta son saturada con oxígeno disuelto y contiene una pequeña concentración de dióxido de carbono disuelto porque son el equilibrio que el aire contiene el 23% en peso y un promedio

de solo 0.03% de dióxido de carbono, contienen orgánicos solubles, se presentan a menudo en altas concentraciones en pantanos y en aguas similares con mas grado en la superficie drenándose desde los vegetales. Las otras materias orgánicas provienes de los animales y del ser humano, ya sea materia fecal o degradación de productos, desechos industriales, y por parte de la agricultura son los pesticidas y herbicidas que contaminan el agua de los ríos y lagos.

Las **aguas superficiales** se dividen en *aguas corrientes* y *estancadas*. Las *aguas corrientes* son las masas de agua que se mueven en una sola dirección y pueden circular continuamente como los ríos y arroyos. Los *ríos* son corrientes permanentes que recolectan las aguas de los distintos tipos de precipitaciones que caen sobre la superficie terrestre, así también el agua que nace de manantiales o que procede del deshielo de glaciares y neveros; los ríos son importantes vías de comunicación, fuente de alimentación (pesca), reservas de agua (para regadío, consumo humano e industrial) y suministradores de energía (centrales eléctricas).

Los *arroyos* son pequeños cursos de agua de escaso caudal que al formarse por afloramiento de aguas subterráneas, se encuentran generalmente relieves montañosos; en determinadas épocas del año los ríos pueden transformarse en arroyos por el clima cálido.

Las *estancadas* son aguas interiores que no presentan corriente continua, como los lagos, lagunas, charcas y pantanos. Los *lagos* son las masas de agua acumulada en el interior de los continentes de forma natural, con superficie y profundidad variables según su situación y pueden ser de agua dulce o salada. Las cuencas de los lagos pueden formarse debido a procesos geológicos como la deformación o la fractura (fallas) de rocas y por la formación de una represa natural en un río debido a la vegetación, un deslizamiento de tierras y acumulación de hielo.

Las *lagunas* son depósitos de naturales de agua dulce o salada de menores dimensiones que un lago, una de las características de las lagunas es que se presentan agrupadas en aquellos lugares en los cursos fluviales no pueden desembocar en otros ríos mayores o en el mar, y desaguan en depresiones de suelos impermeables, que contienen el agua sin filtrarla.

Las *charcas* son las masas de agua que quedan retenidas en la superficie de terrenos impermeables; se pueden originar por agua procedente de lluvia, afloramiento de aguas subterráneas o por la fluctuación de las mareas, cuando la

marea baja se forman bolsas de agua que quedan atrapadas, depresiones de arena y cuencas naturales.

Los *pantanos* se forman como consecuencia del avenamiento de la ausencia de una red fluvial capaz de desalojar las aguas de una región; se encuentran localizados principalmente en las proximidades de los ríos, en sectores de valles que han sido abandonados por las agua corrientes o valles que había sido labrados por ríos de gran caudal.

Las **aguas subterráneas** son conocidas usualmente como agua de pozos, en contraste de las superficiales, solamente contienen una mínima cantidad de materia suspendida pero una mayor cantidad de minerales, ya que es filtrada mediante la tierra; generalmente la concentración de impurezas inorgánicas (con la excepción de pozos poco profundos) por algunas partículas se quedan en áreas constantes. También pueden contener cantidades substanciales de dióxido de carbono, gases como el sulfuro de hidrogeno (dando un olor como a huevo podrido) y metano causados por la descomposición orgánica.

El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico; a nivel global esta representa unas veinte veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas, de ahí la importancia de esta agua como reserva y como recurso de agua dulce. Además, tiene un importante papel en la naturaleza.

El efecto de la gran reserva de agua respecto al flujo anual, es esencial para mantener el caudal de base de muchos ríos y la humedad del suelo en las riberas y áreas bajas; también es importante para nuestra civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos, debido a que puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos.

En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, es preferible utilizar agua subterránea porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos. Aunque el agua

subterránea está menos contaminada que la superficial, la contaminación de este recurso también se ha convertido en una preocupación en los países industrializados.

La movilidad del agua subterránea depende del tipo de rocas subterráneas en cada lugar; las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos, y suelen estar formadas por arenas, gravas, calizas o basaltos. Otras capas, como las arcillas, pizarras, morrenas glaciares y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea.

Desafortunadamente los acuíferos se han visto de sobre manera explotados, esto ha perjudicado de manera notable, dando lugar a problemas de diversa índole, tales como el agotamiento de las reservas, deterioro de la calidad del agua, e impactos económicos, etc.

1.4. Ciclo hidrológico del agua.

Como ya hemos mencionado antes, el agua existe en la Tierra en tres estados: sólido (hielo, nieve), líquido y gas (vapor de agua). Océanos, ríos, nubes y lluvia están en constante cambio: el agua de la superficie se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se filtra por la tierra, etc. Sin embargo, la cantidad total de agua en el planeta no cambia. La circulación y conservación de agua en la Tierra se llama ciclo hidrológico, o ciclo del agua. Hace aproximadamente cuatro mil quinientos millones de años, la Tierra ya tenía en su interior vapor de agua. En un principio, era una enorme bola en constante fusión con cientos de volcanes activos en su superficie. El magma, cargado de gases con vapor de agua, emergió a la

superficie gracias a las constantes erupciones. Luego la Tierra se enfrió, el vapor de agua se condensó y cayó nuevamente al suelo en forma de lluvia.

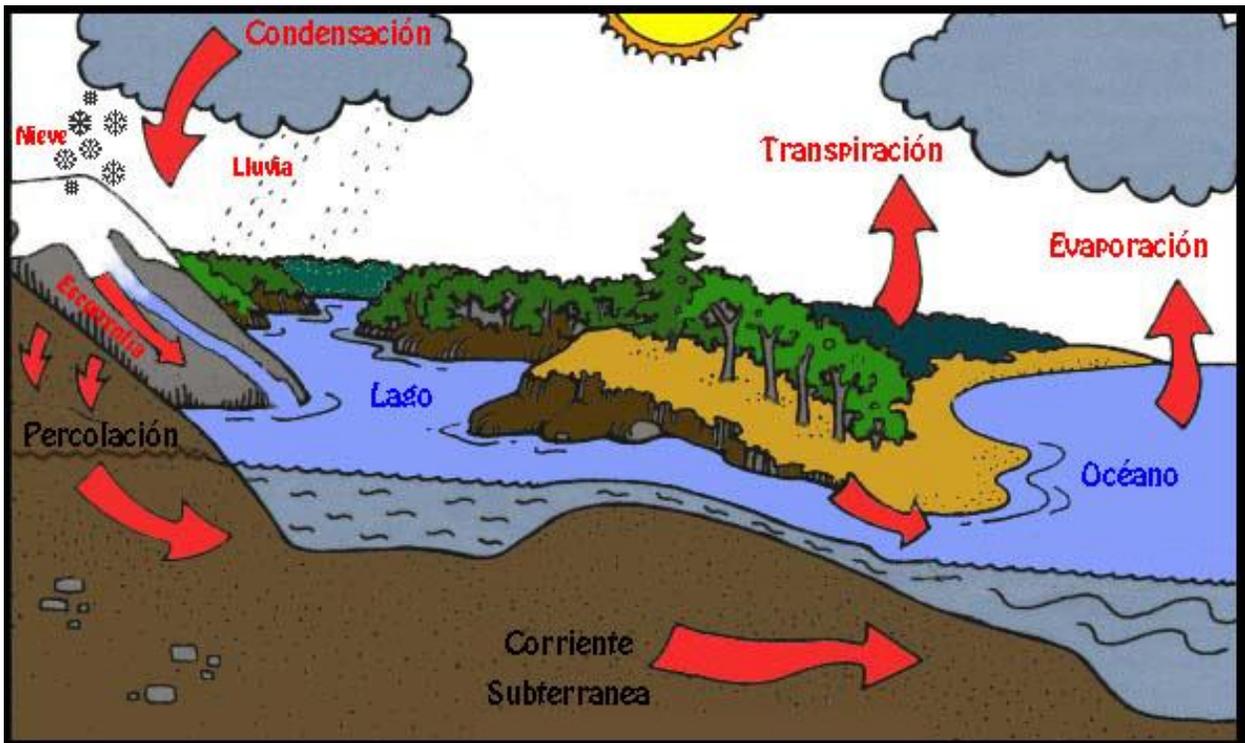


Figura 1.3. Ciclo hidrológico del agua⁸.

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua: es la condensación. Las gotas se juntan y forman una nube. Luego, caen por su propio peso: es la precipitación. Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo. Si es más cálida, caerán gotas de lluvia. Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos; otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano. A este fenómeno se le conoce como escorrentía.

Otro poco del agua se filtrará a través del suelo, formando capas de agua subterránea. Este proceso es la percolación. Más tarde o más temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación.

Al evaporarse, el agua deja atrás todos los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber (sales minerales, químicos, desechos). Por eso el ciclo del agua

nos entrega un elemento puro. Pero hay otro proceso que también purifica el agua, y es parte del ciclo: la transpiración de las plantas.

Las raíces de las plantas absorben el agua, la cual se desplaza hacia arriba a través de los tallos o troncos, movilizándola consigo a los elementos que necesita la planta para nutrirse. Al llegar a las hojas y flores, se evapora hacia el aire en forma de vapor de agua. Este fenómeno es la transpiración.

⁸ *Ciclo del Agua.* <http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>

1.5. Impurezas en el agua para uso industrial.

Existen algunos compuestos en la corteza terrestre que se pueden disolver con agua fluyendo en ella o filtrándose a través de esta. A continuación se enlistan compuestos inorgánicos más comunes encontrados en aguas suministradas para uso industrial; los primeros ocho elementos cuenta con el 98.62% de la composición de la corteza terrestre: Bicarbonato de Calcio, Bicarbonato de Magnesio, Bicarbonato de Sodio, Bicarbonato de Hierro, Bicarbonato de Manganeso, Cloruro de Calcio, Cloruro de Magnesio, Cloruro de Sodio, Sulfato de Calcio, Sulfato de Magnesio, Sulfato de Sodio, Sílice; sin mencionar algunos⁹. Todos estos compuestos son altamente solubles, con excepción de la sílice que es ligeramente soluble en agua.

Las impurezas en el agua mencionadas anteriormente pueden resultar serios problemas en operación de equipos industriales causados por formación de depósitos, corrosión del metal, formación de espuma en vapor generado, desarrollo de bacterias y deterioro de madera en sistemas torres de enfriamiento.

Dichas impurezas se presentan en tres tipos: *sólidos suspendidos* o materia insoluble mejor conocida como agua turbia como arena, limo, lodos, incluyendo los crecimientos microbiológicos; *sólidos disueltos* que pueden ser minerales u orgánicos; *gases disueltos* como oxígeno, nitrógeno y gases industriales¹⁰. Todas estas impurezas el agua las va adquiriendo al pasar por diferentes estados de la materia mediante un ciclo llamado *ciclo hidrológico del agua*. Por ejemplo en las aguas superficiales el arrastre de sólidos suspendidos a través de los ríos, lagos que vienen de las montañas contiene grandes cantidades materia suspendida y anexando contaminación que el mismo ser humano descarga a esta agua; para los sólidos disueltos son sales y minerales que el agua por naturaleza contiene que a simple vista no se observan pero están presentes como impurezas disueltas; y para los gases disueltos que el agua adquiere mediante la lluvias disolviéndolos al precipitarse en la atmósfera.

A continuación se definen algunas impurezas más comunes que se monitorean en el tratamiento de aguas, mediante diferentes métodos analíticos.

- ***Aceites y grasas.***- Este material produce incrustaciones, lodos y espumas en calderas e impide el intercambio de calor en sistemas de enfriamiento.
- ***Alcalinidad.***- Esta determinación analítica expresa el contenido de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos en el agua. No necesariamente es así, porque hay otras sustancias que pueden ser alcalinas, pero se ha convencido que solo se exprese el contenido de los iones mencionados al principio. La unidades a manejar son partes por millón (ppm) de CaCO_3 , estos compuestos contribuyen a la formación de espumas en la calderas, arrastres de sólidos en el vapor y fragilización del metal en altas concentraciones.

^{9, 10} *Impurezas del agua. Drew Principles Of Industrial Water Treatment*

- ***Cloruros.***- Esta determinación analítica expresa el contenido en el agua de los Cloruros de Calcio, Magnesio y Sodio principalmente, reportados en ppm de cloruros de cómo iones de cloruros (Cl^-). Se encuentran en casi todas las aguas naturales, la prueba se usa para controlar las purgas en la torres de enfriamiento y en calderas a baja presión.
- ***Dureza.***- Esta determinación expresa el contenido de sales de Calcio y Magnesio en el agua; la prueba es muy importante ya que estas sales bajo influencia de calor pueden formar depósitos insolubles en la tuberías e intercambiadores donde el agua fluye para realizar el intercambio de calor,

otro caso es en las calderas ya que manejan altas temperaturas para la generación de vapor.

- **Fierro (Fe).**- Este análisis expresa el contenido de Fierro total disuelto en el agua; la prueba no hace distinción entre las dos formas en que existe el Fierro en solución: la forma Ferrosa y Férrica. La forma más soluble del Fierro en el agua de pozos es el Bicarbonato Ferroso.
Cuando el agua recién obtenida de un pozo se observa clara, pero al ser expuesta en la atmósfera en un recipiente se forma un precipitado amarillento o café rojizo de Hidróxido de Fierro con mancha con todo lo que hace contacto. Aunque la mayoría de las agua naturales tienen menos de 5 ppm, las aguas que contienen 0.3 ppm ya pueden ocasionar problemas de corrosión en equipos de aguas de enfriamiento, calderas y en sistemas de recuperación de condensados.
- **Gas carbónico (CO₂) Bióxido de Carbono.**- Esta determinación analítica expresa el contenido de CO₂ libre y se reporta en ppm. Es una solución acuosa como “libre”, esta prueba es importante porque se usa para controlar el funcionamiento adecuado de los desgasificadores; para corregir la conductividad de los condensados; evitar que el agua sea muy corrosiva.
- **Sulfatos.**- La prueba se expresa como ppm de sulfato SO₄. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y su concentración en el agua oscila desde 5 a 200 ppm. Debido a que los sulfatos son relativamente insolubles pueden ser indeseables en aguas con alto contenido de Calcio, ya que incrementa el contenido de sólidos disueltos que combinados con este último, forman incrustación de Sulfato de Calcio.
- **Sílice.**- Esta prueba expresa el contenido de compuestos de Silicio disuelto en el agua (Silicatos, Ácido Sílico) y se reporta en ppm como SiO₂. El Silicio es un elemento abundante en la naturaleza, casi todas la aguas contienen compuestos de este; los compuestos de Sílice son indeseables en las aguas de alimentación a calderas y en aguas de sistemas de enfriamiento porque pueden formar Silicatos de Calcio o Magnesio que se precipitarán formando incrustaciones, impidiendo la transferencia de calor en los equipos.
- **Oxígeno disuelto.**- La prueba expresa la cantidad de Oxígeno disuelto en agua, para verificar el funcionamiento adecuado de los deareadores y el contenido de oxígeno residual en el vapor de las calderas, ya que este causa corrosión en las mismas, calentadores y líneas de condensados.

Debido a estas impurezas en el agua se han encontrado diferentes problemas en el sector industrial, en la siguiente tabla se ilustras los más generalizados.

Tabla 1.1. Problemas generales causados por impurezas en el agua¹¹.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Corrosión uniforme	x	x	x	x	x	x	x	X
Corrosión localizada	x	x	x	x	x	x	x	X
Corrosión por esfuerzo (stress)	-	-	-	-	x	x	-	-
Dezincificación del cobre	x	-	x	x	-	-	x	X
Ataque por amoníaco al acero inoxidable	-	-	x	x	-	-	-	-
Disimilar metal corrosión	x	x	x	x	-	-	x	X
Ataque por cloruros al acero inoxidable	x		x	-	-	-	x	
Ataque cáustico	-	-	-	-	-	x	-	-
Daño por hidrógeno	-	-	-	-	-	x	-	-
Formación de depósitos inorgánicos	x	x	x	x	x	x	x	X
Ensuciamiento microbiológico	x	-	-	x	x	-	x	-
Deterioro de madera en TE.	-	-	x	-	-	-	-	-
Descargas fuera de planta	-	-	-	-	x	x	-	-

Donde:

- A. A través de sistemas de enfriamiento.
- B. Sistemas cerrados en circulación
- C. Sistemas abiertos en circulación
- D. Sistemas de aire acondicionado
- E. Generación de vapor con presión baja
- F. Generación de vapor con presión alta
- G. Procesos para agua (efluentes)
- H. Agua potable

En la siguiente página se ilustran algunos ejemplos de problemas causados por impurezas y por el mal monitoreo de estas, donde no se toma la mas mínima importancia a los ataques de corrosión hasta que afectan la eficiencia de los sistemas y equipos.

¹¹ *Drew Principles of Industrial Water Treatment*



Figura 1.4. Corrosión en intercambiador de un sistema de enfriamiento cerrado¹².



Figura 1.5. Corrosión en intercambiador de un sistema de enfriamiento cerrado¹³.

En primer *Figura 1.4.* se ilustra el mismo se logra ver como la corrosión ataca la mayor parte del cuerpo por el lado enfriamiento, en la *Figura 1.5.* es el mismo intercambiador solo que es una toma cercana para apreciar la intensidad del daño afectando la eficiencia del equipo y bajando la temperatura del proceso a enfriar.



Figura 1.6. Corrosión por esfuerzo (stress) en una caldera con presión alta¹⁴.
En esta *figura* se observa la falla en un tubo por donde circula en agua en caldera, la cual trabaja para generar vapor con alta presión, ocasionando que los tubos se debiliten y se formen grietas grandes.



Figura 1.8. Corrosión uniforme en sistema abierto en circulación¹⁵.
En la *figura* se ilustran dos testigos de corrosión montados en línea para un sistema de torres de enfriamiento, se observa tubérculos causados por descontrol de pH.
^{12, 13, 14, 15} Planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera

1.6. Terminología para el tratamiento de aguas.

Existen términos para el tratamiento de aguas que expresan la concentración de las impurezas para poder dar un mejor control y rastreo de las mismas, realizando cálculos, aplicando técnicas adecuadas sobre el tratamiento químico y así poder suministrar la mejor calidad en agua a los diferentes sistemas que interesan mantener eficientes. A continuación se describen brevemente.

- **Anión.-** Ión cargado negativamente.
- **Catión.-** Ión cargado positivamente.
- **Ciclos de concentración.-** Es la cantidad relativa de agua que recircula en lugar en base sólidos disueltos. Por ejemplo en torres de enfriamiento, los ciclos son expresados como la relación entre el total de sólidos disueltos en agua de enfriamiento y la cantidad de sólidos entre el agua de alimentación o de repuestos a este sistema. Para un monitoreo de ciclos, se divide las ppm de sílice encontradas en agua de enfriamiento entre las ppm de sílice en agua de repuesto, estos es para mantener los ciclos dentro de rango según la capacidad de sistema de enfriamiento.
- **Componentes expresados como equivalentes de CaCO_3 .**- El Carbonato de Calcio tiene un peso molecular de 100 y un peso equivalente de 50. Cuando los componentes en agua son reportados como equivalentes de Carbonato de Calcio, estos son reportados dentro de un fundamento común. Aunque todos los componentes de agua pueden ser reportados equivalentes de Carbonato de Calcio, al menudo solo la dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio y alcalinidad son los reportados.
Por ejemplo, se desea convertir 150 ppm de calcio ha calcio como carbonato de calcio, el procedimiento es el siguiente:
 150×50 (peso equivalente de CaCO_3) / 20 (peso equivalente del calcio)
Estos es = 375 ppm de calcio como CaCO_3
- **Conductividad.-** Los sólidos disueltos ionizados en el agua tienen la habilidad de conducir una corriente eléctrica, esta propiedad es útil en el tratamiento de aguas, ya que puede ser usada apara obtener una proximidad de la concentración de sólidos disueltos en agua cruda, alimentación a calderas, condensados, etc. La unidad de conductividad es el recíproco del *ohm*, esto es el *mho* por centímetro, pero como la conductividad del agua es muy pequeña la unidad de usada es el micromhos por centímetro (μmhos).
- **Equivalentes por millón.-** Este término es usado cuando se determina la concentración de sólidos disueltos en el agua. Estos representan las ppm dividido por el peso equivalente de una sustancia, el peso equivalente es atómico, molecular o radical. Por ejemplo, el peso molecular de SO_4 es de 96 y su valencia es 2, por lo tanto el peso equivalente $96/2$ ó 48.

- **Ión.-** Partícula que posee una carga eléctrica positiva o negativa.
- **Oxidación.-** Es la pérdida de electrones por un elemento.
- **Partes por millón (ppm).-** Este término significa que una parte del peso una sustancia por un millón de partes de peso del agua.
- **pH.-** Es una medición de equilibrio entre acidez y la alcalinidad del agua en una escala de 0 al 14, donde 7 considera neutral. La escala del pH se parece a la escala de un termómetro, así como un termómetro mide la intensidad de calor, la escala de pH indica la intensidad de acidez o alcalinidad del agua. Las moléculas de agua contienen iones H^+ e iones OH^- , cuando la concentración de iones H^+ cambia, la concentración de iones OH^- cambia en proporción y siempre en dirección opuesta; la naturaleza ácida o alcalina de una solución depende en cual de los iones predominan. Cuando una solución con iones esta contiene el mismo numero de iones de hidrogeno (H^+) y el iones (OH^-), entonces se considera pH neutro y se dice que hay $1/10,000,000$ ó $1/10^7$ gramos por cada litro de esta. Si una solución de agua tuviera diez veces mas iones de hidrogeno (H^+) que iones (OH^-), los valores serían de $1/10^6$ por iones de hidrogeno y $1/10^8$ por iones (OH^-), como se ilustra en las dos primeras columnas con logaritmos base 10 a la inversa, en la **Tabla A1** en la sección de **Anexos**.
- **Reducción.-** Es cuando un elemento gana electrones.
- **Sólidos totales.-** Es el resultado de la suma de sólidos solubles e insolubles.
- **Total de sólidos disueltos.-** Estos representan todos los sólidos inorgánicos solubles en un agua expresada en ppm; por otra parte los sólidos orgánicos no son usualmente considerados.
- **Turbidez.-** Es la que expresa una reducción de la transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión. No hay una equivalencia exacta entre el valor de la turbidez y sólidos en suspensión, aunque es una estimación indirecta y rápida de ellos; por lo general el aumento estos últimos trae como resultado el aumento de turbidez. En el agua se determina con un *Nefelómetro* o *Turbidímetro*, que es instrumento que mide la intensidad de la luz reflejada a $90^\circ C$ por las partículas en suspensión en el agua, de la luz que incide sobre la muestra. Las unidades que se usan para reportar los resultados están basadas en la comparación de la turbidez de la muestra a la turbidez de estándares; la unidad mas común son las *Unidades de Turbidez Nefelométricas (NTU)* o *Unidades Jackson*.

1.6.1. Control de corrosión.

La corrosión a tratamientos de agua se refiere, es un proceso electroquímico en donde una diferencia de potencial eléctrico se desarrolla entre dos metales o en diferentes partes de un solo metal, este voltaje puede ser medido cuando un metal es conectado eléctricamente a un electrodo estándar, el potencial eléctrico de un metal puede ser mayor o menor que el estándar, por lo que es expresado para estos casos como *positivo* o *negativo*. Esta diferencia en potencial permite que la corriente pase a través del metal causando reacciones en sitios anódicos y catódicos, estos sitios forman parte de la celda de corrosión, en los primeros se encuentran las regiones con bajo potencial eléctrico e inversamente en los sitios catódicos los de alto potencial.

Un ejemplo de este proceso químico sería el de una batería húmeda, esta genera una corriente eléctrica que fluye del ánodo al cátodo mediante un electrolito neutro que se encuentra en el agua, cerrando el circuito. Como resultado de este circuito, con el tiempo se produce una pérdida de metal (*corrosión*) en el ánodo. El mismo proceso tiene lugar en un sistema donde circula agua en línea de enfriamiento por ejemplo; si la superficie del metal fuera perfectamente uniforme la corrosión sería mínima. Pero las rugosidades, aún las microscópicas producidas por imperfecciones de manufactura en la superficie del metal generan diferencias en el potencial eléctrico, formando zonas de carga alta (cátodos) y zonas de carga baja (ánodos).

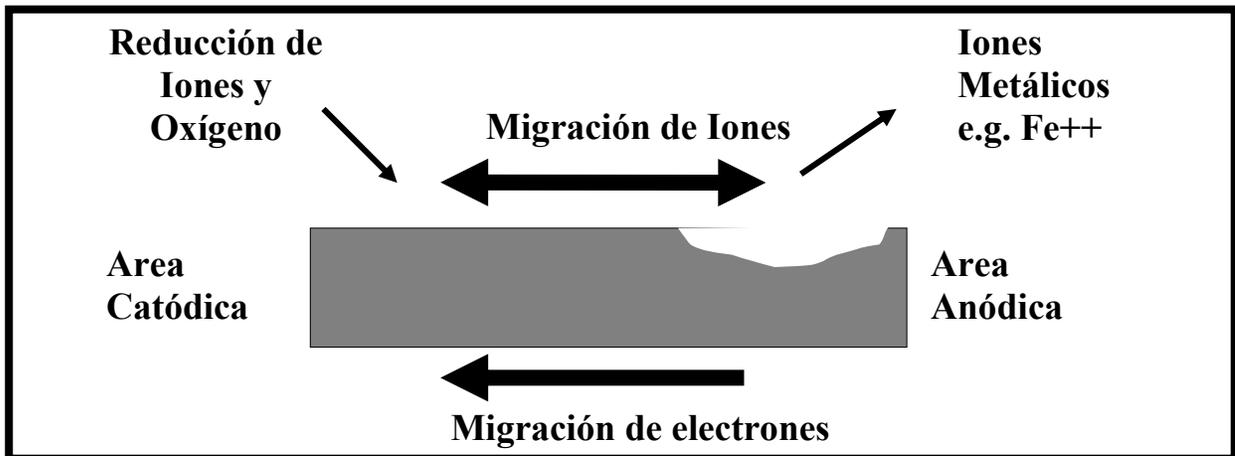


Figura 1.9. Celda de corrosión¹⁶.

¹⁶ Drew Principles of Industrial Water Treatment

Sobre la superficie de una sola pieza de metal se encuentran pares de ánodos y cátodos, que se llaman celdas de corrosión como se ilustró en la figura anterior. El metal del ánodo empieza a disolverse dejando electrones de carga negativa tras de sí, estos son atraídos al cátodo donde se combinan con el oxígeno y el agua, formando iones de carga negativa, llamados hidróxidos. Por su carga negativa los iones son atraídos de regreso al ánodo, debido a que el agua contiene minerales disueltos, ésta conduce la electricidad permitiendo que los iones emigren y cierren el circuito. Existen factores que contribuyen al aumento de la velocidad de corrosión, a continuación se enlistan:

- **pH.-** La corrosión tiende a incrementarse conforme los niveles de pH de los sistemas sin tratar disminuye; valores bajos aceleran la reacción de los electrones con el oxígeno y el agua en el cátodo. El agua con bajo pH también disuelve algunos óxidos que pueden haberse formado en el ánodo, exponiendo nuevas superficies metálicas que anteriormente estaban protegidas. En otros casos por altas temperaturas, como en aeración de vapor por calderas, el pH también juega un papel importante en la eficiencia de estos equipos, ya que para temperaturas y presiones altas un valor de 10 en pH es el indicado para proteger la celda de corrosión.
- **Sólidos suspendidos y microorganismos.-** Los depósitos en un sistema resultan de lodos, arenas, arcillas y sedimentos en general, incluyendo a los microorganismo vivos o muertos. Los depósitos influyen a la corrosión de varias formas, interfieren entre el tratamientos químicos y el metal a tratar, también contribuyen a la corrosión de manera más riesgosa porque debajo de los depósitos formando puntos anódicos, estos provocan corrosión localizadas (pitting o picaduras) que causa profundas cavidades en el metal con posible fugas en los sistemas, el material microbiológico con frecuencia es el responsable de este tipo de corrosión debajo de sus depósitos.
- **Temperatura.-** Las áreas muy calientes son más propensas a incrustaciones que las zonas más frías en diferentes sistemas, esto se debe a que el punto de saturación de muchos minerales con tendencia a incrustarse se vuelve menor conforme aumenta la temperatura del agua, por ejemplo, en tubos de los intercambiadores de calor tienen mayores probabilidades de incrustaciones que en otras zonas del mismo sistema donde recircula el agua.

- **Velocidad del agua.**- Tanto las velocidades altas como bajas contribuyen a incrementar la corrosión. El tratamiento químico para minimizar la corrosión funciona formando una película protectora sobre las superficies metálicas por donde circula el agua. A altas velocidades de flujo, las partículas presentes en el agua pueden erosionar la película protectora, dejando a la superficie vulnerable a la corrosión. A bajas velocidades se crea poca turbulencia y los sólidos se asientan depositándose sobre las superficies del metal, esto evita que el tratamiento químico se conduzca hacia algunas partes del metal, dejándolo de nuevo vulnerable a la corrosión; además, a flujos lentos por debajo de el agua puede calentarse más, con lo que se aceleran las reacciones catódicas y la pérdida del metal en los ánodos.

El método más efectivo para controlar la corrosión en un sistema es suministrando inhibidores químicos, estos funcionan interfiriendo con el proceso de la corrosión en celda. Interrumpiendo el circuito se detiene el proceso formando una barrera protectora, es decir, entorpecen la reacción en el ánodo, el cátodo o en ambos. Los inhibidores de corrosión funcionan de tres formas posibles: *pasivación*, *formación de película* y *adsorción*.

La **pasivación**, se forma con una capa delgada de óxido metálico sobre la superficie y evita que los elementos corrosivos ataquen al metal, los inhibidores más comunes son los cromatos, nitritos y molibdatos. La **formación de película**, funciona recubriendo y protegiendo la superficie metálica mediante la combinación de un inhibidor catiónico y otro aniónico, los más usados en tratamientos de aguas son a base de zinc y fosfatos respectivamente. En la **adsorción**, como su nombre lo indica, los inhibidores tienen la propiedad que hacen que se adsorban en la superficie metálica, los inhibidores orgánicos generalmente presentan este mecanismo.

1.6.2. Prevención de depósitos.

Existen dos formas de identificar los depósitos en tratamiento de aguas, por *incrustación* y *ensuciamiento*. La primera es el resultado de la precipitación de los minerales disueltos en el agua, que forman depósitos, los más comunes son el carbonato y fosfato de calcio, la sílice y el sulfato de calcio, estos minerales no representan problemas; pero el agua tiene un punto de saturación para cada mineral disuelto. Por ejemplo, cuando el agua llega a un punto de saturación del calcio, este se precipita, aunque algunas partículas serán retiradas por la descarga o purga, siempre quedarán algunas adheridas en las zonas del sistema en las que se formarán esos depósitos similares a piedras difíciles de removerla; a diferencia de la incrustación que se vuelve muy sólida, los depósitos por *ensuciamiento* son blandos, estos se provocan por materiales suspendidos que se adhieren y asientan sobre las superficies metálicas, son dañinos en varias formas. Por ejemplo, afectan la eficiencia cuando se acumulan en los intercambiadores de calor, estos depósitos van forrando la superficie de los intercambiadores hasta llegar a bloquear el paso de agua de enfriamiento completamente. También estos materiales suspendidos en el agua pueden absorber los inhibidores de incrustación e inhibidores de corrosión que se agreguen, impidiendo que protejan al sistema, con mayores costos de tratamiento químico por unidades tratadas.

Para estos problemas de depósitos se incluyen los inhibidores de incrustación y dispersantes, estos evitan la incrustación en los sistemas de agua de enfriamiento por *distorsión de cristales*, *secuestación* y *dispersión*.

El tratamiento mediante la *distorsión de cristales*, con pequeñas partículas impidiendo que se precipiten; los inhibidores que trabajan con este mecanismo distorsionan los cristales en crecimiento, impidiendo sus patrones normales de desarrollo. En vez de convertirse en una incrustación densa y dura, los cristales tendrán forma irregular y no se adherirán a las superficies metálicas; los polímeros aniónicos funcionan de este modo. La *secuestación* se da con agentes que secuestrantes impiden la formación de depósitos de calcio en los sistemas de agua de enfriamiento, los inhibidores que funcionan con este mecanismo aumentan la solubilidad de la sales disueltas, aumentando la cantidad que permanecerán en solución; los agentes quelantes y los compuestos de fósforo funcionan por secuestación. En presencia de cristales de incrustación distorsionados o de sólidos suspendidos, los dispersantes actúan recubriendo las partículas dándoles una fuerte carga eléctrica. Como las cargas iguales se repelen, las cargadas serán rechazadas por otras partículas, permaneciendo así en suspensión; cualquier polímero con carga provocará la *dispersión*.

1.6.3. Control microbiológico.

Los microbios son organismos microscópicos que existen en el agua, en la tierra y hasta en el aire que respiramos; la mayoría son inofensivos y no les dedicamos mucha atención, es sólo cuando empiezan a acumularse que se convierten en un problema y bajo condiciones ideales algunos se multiplican cada quince minutos, duplicando su número en ese periodo. Mientras que la concentración de sales minerales puede aumentar hasta seis veces en el agua de enfriamiento, las bacterias pueden aumentar el número hasta seis millones de veces en el mismo período de tiempo. La situación empeora porque se provee un ambiente ideal para la reproducción de bacterias, con nutrientes en agua y un pH de entre 6 y 9. Si se permite su libre reproducción, los microorganismos rápidamente formaran depósitos que obstruirán el sistema y sus desecho provocarán severa corrosión. Las *algas*, *hongos* y *bacterias* son los tres tipos de microorganismos que pueden encontrarse en cualquier sistema de enfriamiento.

Las *algas* son plantas verdes microscópicas que requieren de luz solar para desarrollarse, por que florecen en las charolas de dispersión de las torres de enfriamiento por ejemplo, si no se tratan las algas formarán grandes alfombras flexibles que pueden forrar las superficies de las torres y tapar los orificios de distribución en las charolas que distribuyen el agua de retorno. Además las alfombras de algas pueden fragmentarse entrando al sistema tapando tubos de intercambiadores de calor; en las zonas oscuras estas mueren y se convierten en alimento de otro tipo de microorganismos.

Los *hongos* estos atacan la superficie de la madera en torres de enfriamiento y su área interna, consumiéndolas como fuente de alimento. Internamente la madera consiste de celulosa que es el material de la pared celular de la plantas; y de lignina, sustancia junto con la celulosa forman la pared celular, además de ser el adhesivo entre ellas. Una vez que estas han sido consumidas por los hongos, la madera pierde inconsistencia y se desmorona en forma irreversible; por esto los hongos pueden llegar a destruir una torre de enfriamiento por completo, si no es controlado su desarrollo.

Las *bacterias* son los microorganismo por lo general más problemáticos de los tres tipos encontrados en los sistemas de enfriamiento, de cuales hay varias clases: la *bacteria formadora de limo*, estas sólo crecen en presencia de oxígeno, por lo que pertenecen al grupo llamado “aerobias”, al acumularse forman masas pegajosas que atrapan otras partículas como los sólidos suspendidos y los productos de corrosión; sus grandes masas pegajosas que llegan a obstruir totalmente los tubos de los intercambiadores de calor cortando el flujo de agua de enfriamiento y reduciendo la

eficiencia del equipo. La *bacteria anaerobia*; llamadas así porque se proliferan en zonas poco oxigenadas tal como debajo de los depósitos y lodos; algunas de ellas producen ácidos que atacan directamente el metal del sistema de enfriamiento. La *bacteria depositante de hierro*; estas toman el hierro disuelto en el agua y a su vez producen otro tipo de partículas de hierro que no se disuelve, al acumularse y formar depósitos rojizos se reduce la transferencia de calor en los intercambiadores; también los depósitos se convierten en refugio de bacterias anaerobias que provocan corrosión en las superficies metálicas. La *bacteria nitrificante*; con frecuencia se encuentran en sistemas contaminados con amoníaco o tratados con inhibidores basados en nitritos, las bacterias nitrificantes convierten en amoníaco en ácido nítrico, si hay suficientes bacterias y amoníaco pueden producir suficiente dicho ácido para bajar el pH del sistema hasta producir un ambiente corrosivo.

Manteniendo los sistemas de enfriamiento libre de contaminantes, como aceite, grasa, hojas y tierra, se elimina unos de los alimentos para los microorganismos; el cloro es uno de los biocidas más comunes y menos costoso que se usan en la actualidad, este es un biocida oxidante, lo que significa que quema los microbios por contacto, por lo cual debe controlarse el desarrollo microbiano para evitar depósitos gruesos que los oxidantes no pueden penetrar. Por ello es importante la constante dosificación de biocidas para mantener controlado el desarrollo bacteriológico en los sistemas de enfriamiento, y tener en cuenta que los microorganismos son agentes de corrosión.

Con el monitoreo de todos los conceptos anteriores, el diseñador industrial de tratamientos de aguas tiene una amplia elección de procesos para cambiar la calidad del agua según la necesidad de los procesos a controlar, ya que se necesita cumplir con ciertas características para uso del agua industrial.

Debido a esto, existen agencias de protección ambiental en todo el mundo donde emiten normas sobre el suministro de agua a industrias, en las que definen al tratamiento interno como “procesos básicamente limitados a utilizar químicos adicionales que alteren la calidad del agua hasta el punto de su uso o dentro de los procesos. Para hoy se ha llegado a un acuerdo con la industrias interesadas en el uso de y descarga de aguas hacia la naturaleza con tecnología de tratamientos químico modernos que permita mantener la calidad del agua respetando las normas.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE PROCESOS EN SERVICIOS AUXILIARES

2.1. Clarificación

La calidad del agua siempre ha sido importante para el uso industrial, es por esto que se crean sistemas de clarificación de agua para poder distribuirla a diferentes procesos, por lo que existen diferentes tratamientos adecuados que remueven impurezas suspendidas en el agua para el uso industrial.

La clarificación de aguas es usada para reducir contaminantes como sólidos insolubles incluyendo metales oxidantes, materia microbiológica, arcilla, silicatos, grasas, aceites, color y turbidez de aguas superficiales.

Para obtener buenos resultados en la calidad del agua clarificada es importante conocer los tres procesos básicos que intervienen en la eliminación de impurezas suspendidas que son: la *coagulación*, *floculación* y *sedimentación*; a continuación se crea un esquema para su entendimiento.

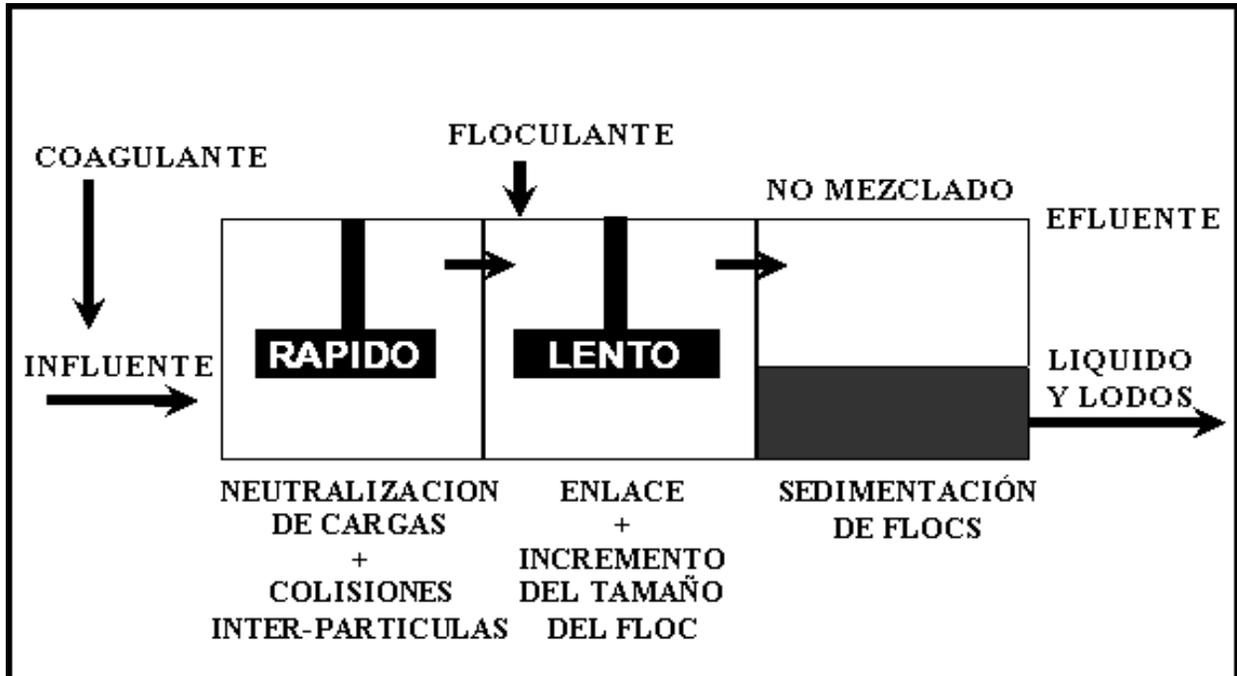


Figura 2.1. Principio de Clarificación¹.

¹ Manuales de Tecnología. Celanese Mexicana

2.1.1. Coagulación.

Es el proceso por el cual partículas divididas finamente de la turbidez y el color, que son capaces de mantenerse indefinidamente en suspensión conocidas como partículas *coloidales*, ya que estas tienen una carga superficial negativa y rodeada por el mismo de cargas positivas, repelando entre sí en el agua manteniéndose suspendidas; son combinadas con agentes químicos (*coagulantes*) para neutralizar sus cargas mediante una agitación rápida. La neutralización de cargas positivas por iones negativos tales como sulfatos y cloruros en el agua son causa de la unión de las partículas coloidales; generalmente el coagulante más usado en las industrias es el Sulfato de Aluminio.

Es importante que el coagulante sea mezclado rápidamente con el agua a ser tratada con objeto de asegurar una coagulación eficiente a una dosificación adecuada, para una distribución uniforme a través del agua antes de que se precipite. Generalmente, se asegura un buen mezclado por propelas accionadas por motor situado en pequeños recipientes donde es introducido el coagulante, o bien por adición de coagulante en punto de turbulencia donde se aprovecha la gravedad en las líneas de alimentación hacia clarificadores.

2.1.2. Floculación.

Seguido de la coagulación, el siguiente paso de la clarificación es la floculación; es el incremento de las partículas en tamaño y volumen mediante una suave agitación, aglomerándolas y formando un floculo, ganando un peso para precipitarse en el fondo de un recipiente llamado clarificador, para removerlos del agua a tratar y minimizar la turbidez.

Para mejorar aún más la floculación en sistemas de clarificación, se le adicionan ayuda a coagulantes, también conocidos como *floculantes*; estos son polímeros solubles en agua con carga iónica que mediante cadenas que ayudan a enlazar las partículas neutralizadas por el coagulante para realizar una mayor aglomeración de estas y formar un floculo aún más grande y que se precipite con un peso mayor.

El polímero óptimo para una planta de tratamiento deberá tener una carga iónica, conocida como imagen de espejo de los sólidos suspendidos en el agua superficial a tratar, por ejemplo, contaminantes fuertemente aniónicos requieren un polímero fuertemente catiónico. Para decidir que polímero es el adecuado se realizan pruebas de jarras (ver **Tabla A18** en sección de **Anexos**) con polímeros cargados positivamente (catiónico), cargados negativamente (aniónico) y en casos necesarios con no iónicos (con cargas positivas y negativas).

2.1.3. Sedimentación.

La sedimentación es la precipitación de los floculos con un tamaño y peso que no pueden mantenerse suspendidos en el agua durante la agitación lenta en un recipiente conocido como clarificador. Existen diferentes formas manufacturadas en la industria de clarificadores, pero depende del diseño de la planta y costo que implica esta inversión; en la siguiente figura se ilustra el funcionamiento más claro de un clarificador.

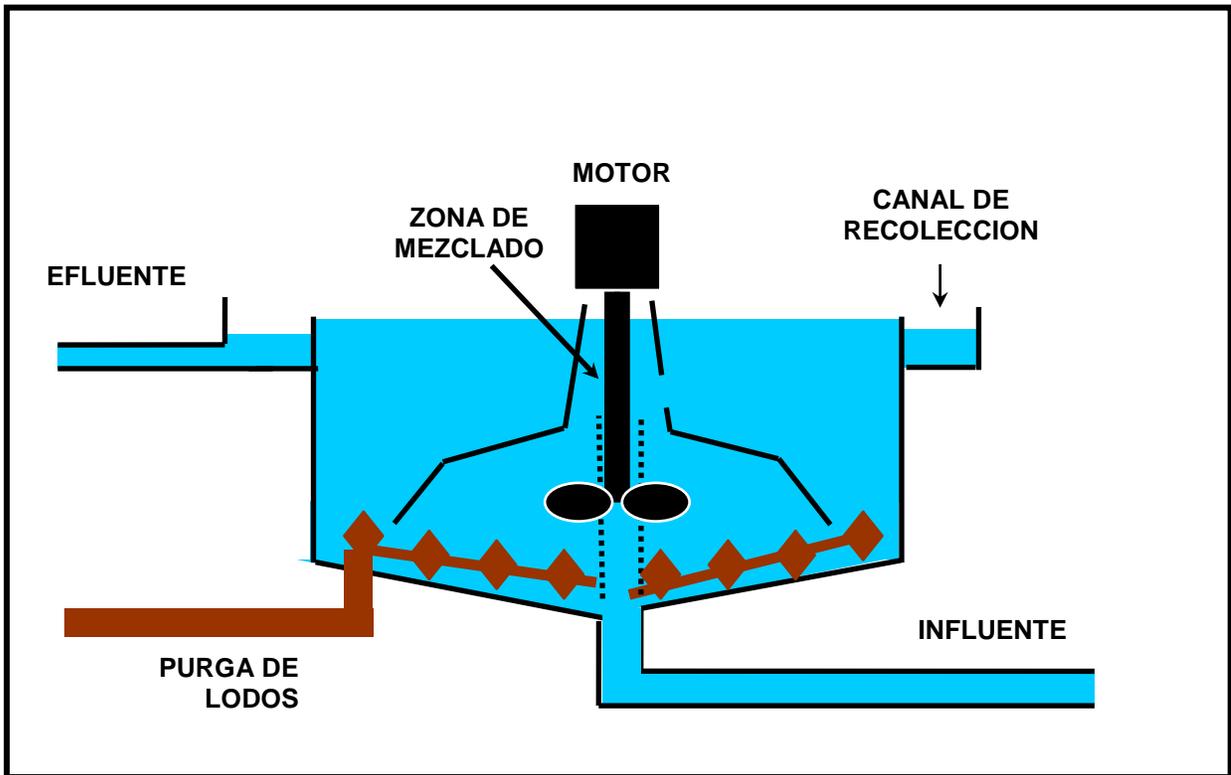


Figura 2.2. Representación de un clarificador².

En algunas plantas después de realizar la clarificación se procede a filtrar el agua, para el caso de la planta de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, se utiliza Arena Sílica con granos muy finos para remover la partículas con poco peso que no se lograron precipitar en el clarificador y obtener un agua con la menor turbidez posible; normalmente se recomienda una turbidez por debajo de los 2 NTU para alimentar a diferentes procesos en las industrias.

² Manuales de Tecnología. Celanese Mexicana

2.2. Filtración.

Realizada mediante un medio filtrante, este es una capa de material granular que físicamente remueve (filtra) materia suspendida en el agua pasando a través de los pequeños orificios de esta capa, el único cambio en la calidad del agua que resulta de la filtración es la reducción de sólidos suspendidos. La variedad de filtros es más numerosa que la de los clarificadores, ya que estos operan por un periodo de tiempo limitado. Cuando la presión baja es una indicación de que el medio filtrante se encuentra saturado y se requiere limpiarlo por retrolavado.

En la siguiente figura se ilustra una representación clásica de filtración; los filtros por gravedad usualmente son usados para filtrar agua que ha sido clarificada, su medio filtrante es usualmente de grava y arena. El agua se dirige hacia la capa filtrante o medio filtrante dando la presión necesaria para la filtración como se ilustra en la figura de la izquierda; cuando es cuestiones de operación la eficiencia de salida de agua filtrada no es la ideal, entonces se proceda a retrolavar para remover materia en medio filtrante como se ilustra en la figura de la derecha.

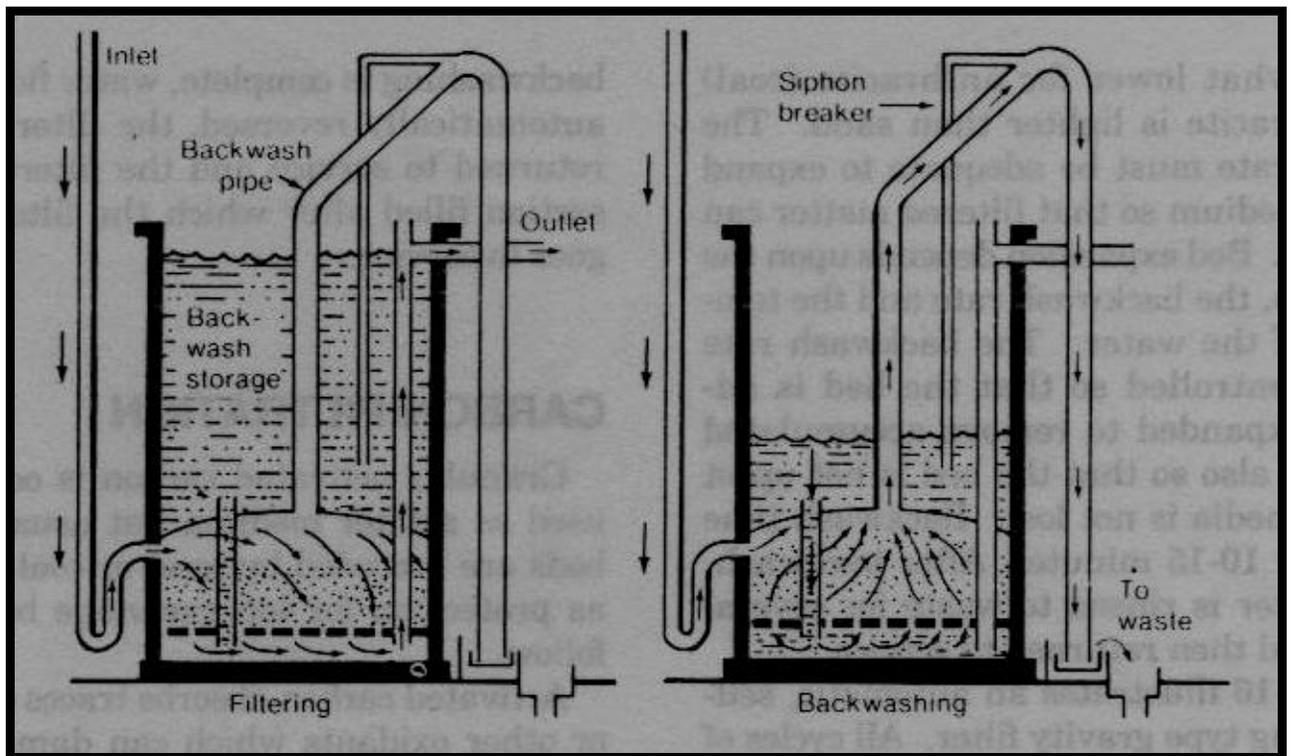


Figura 2.3. Representación de filtración y retrolavado³.

³ Drew Principles of Water Treatment

2.3. Sistema de tratamiento de agua cruda o superficial en planta.

En la siguiente página se desglosa la distribución de equipos en la planta generadora de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, mediante el **Diagrama 2.1**. Este sistema comienza desde la toma de agua del *Río Teapa* donde *CNA* (Comisión Nacional de Agua) suministra el servicio mediante un bombeo hasta la planta, almacenándola en un recipiente llamado *Tanque de almacenamiento de Agua Cruda* manteniendo cierto nivel dependiendo de la demanda de agua. Seguido de esto, se mantiene un nivel de operación para alimentar al área de *Casa de Bombas Contra Incendio*, manteniendo disponible agua cruda en cantidades mayores en caso de un siniestro.

Por otro punto alimentación, aprovechando la gravedad en la instalación, se alimenta agua al *Clarificador* inyectándole a la vez la preparación de *Coagulante* (Sulfato de Aluminio), donde se realiza la coagulación. Ya una vez neutralizadas las partículas coloidales, antes de entrar al clarificador por la parte inferior, es inyectada la preparación de *Polímero* para realizar la floculación. Al alimentar agua tratada en *Clarificador*, se crea la sedimentación por agitación lenta en el mismo; los floculos obtenidos se precipitan en el fondo removiéndolos mediante una purga de fondo, desechándolos como lodos fuera del sistema.

El agua clarificada que reboza en la parte superior del *Clarificador*, fluye por gravedad hacia unos *Filtros de Arena*, donde las partículas con menor peso que no se lograron sedimentar en el *Clarificador*, son removidas a través un medio filtrante (Arena Sílica). Los filtros operan de manera en espera cuando se requiere un retrolavado por saturación del medio filtrante, es decir, cuando el filtro *A* esta alineado para remover partículas suspendidas en agua clarificada, el filtro *B* se encuentra en proceso de retrolavado; cuando se repite y termina acción para retrolavar el filtro *A*, entonces se alinean los dos para seguir filtrando el agua clarificada y minimizar sólidos suspendidos.

De igual manera que en el *Clarificador*, en *filtros* se tiene una purga de lodos, donde estos son enviados al sistema de tratamiento de descargas de todo en complejo, conocida el área como Efluentes por sistemas aerobios y anaerobios para retornar el agua a la naturaleza con la menor cantidad posible de contaminantes, que tengan un impacto ambiental.

El agua filtrada fluye por gravedad en línea que alimenta a un recipiente, conocido en planta como, tanque de almacenamiento *de Agua Clarificada*. Finalmente, esta agua es bombeada a todo el complejo, para los diferentes procesos que se ilustran en el siguiente diagrama.

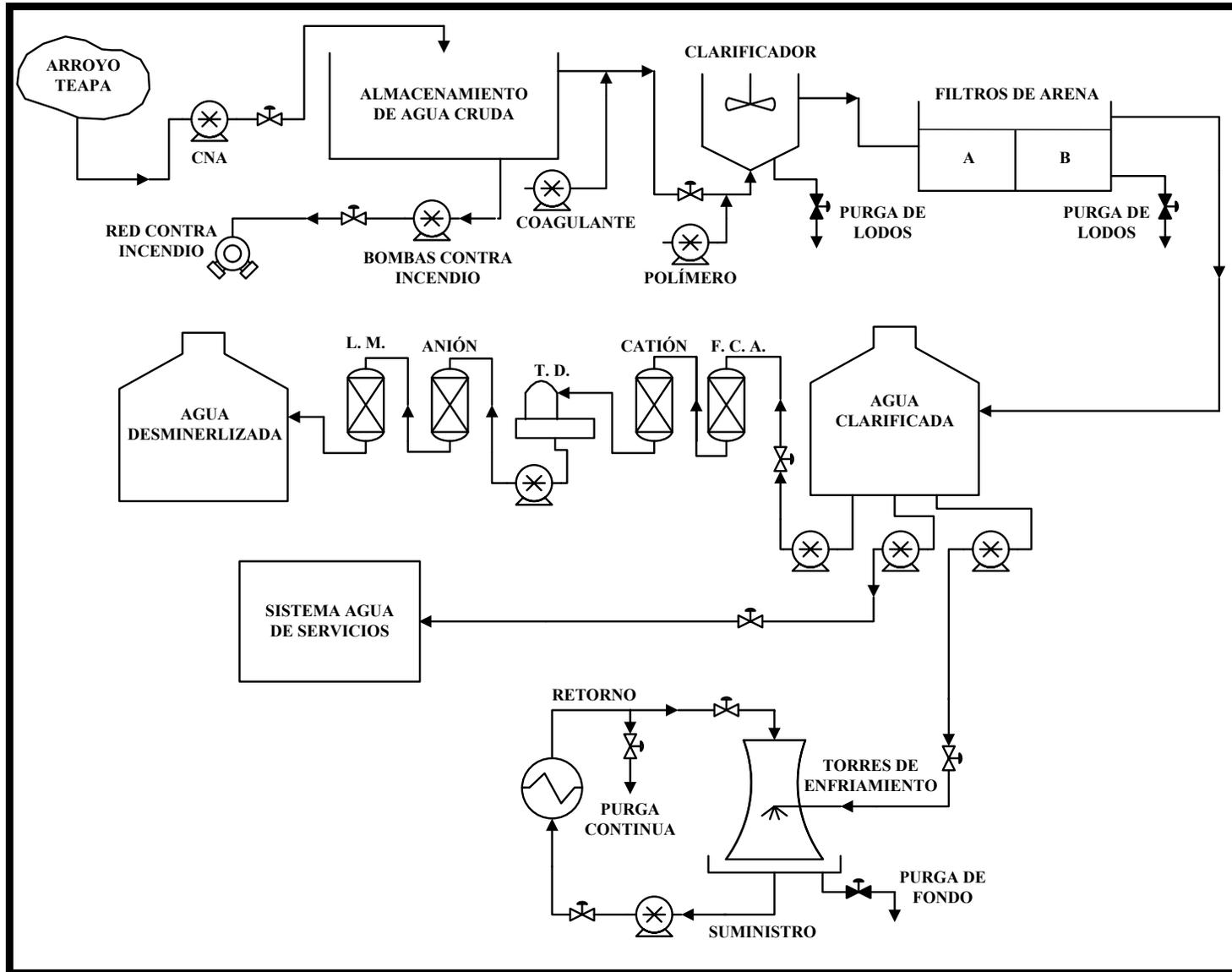


Diagrama 2.1. Tratamiento para agua cruda en planta.

2.4. Desmineralización.

El suministro de agua clarificada o filtrada a procesos industriales contiene sales disueltas, las cuales se disocian en el agua para formar partículas con carga, conocidas como iones. Estos iones están presentes por lo general en concentraciones relativamente bajas y permiten que el agua conduzca electricidad, algunas veces se conocen como electrolitos.

Estas impurezas iónicas pueden causar problemas en sistemas de enfriamiento como en intercambiadores de calor, generación de vapor en calderas a elevada presión, procesos de fabricación de la industria electrónica y farmacéutica; debido a estos casos, es necesario aplicar la *desmineralización* mediante el principio básico de intercambio de iones en el agua.

2.4.1. Intercambio iónico.

El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ión de una solución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil.

Existen intercambiadores iónicos que son matrices sólidas que contienen sitios activos con carga electrostática, positiva o negativa, en dichos sitios tiene lugar la reacción de intercambio iónico mediante resinas: los de catión con carga positiva, resina que remueven todos los cationes del agua (calcio, magnesio, fierro, sodio, etc.); y los de anión con carga negativa, resina que remueven algunos o todos los aniones del agua (cloruros, sulfatos, sílice, etc.).

Los tipos de resinas en sector industrial se clasifican en resina catiónicas de ácido fuerte y débil; para las primeras funcionan a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales y requieren una cantidad substancial de regenerante; para el segundo tipo de resinas están sujetas a una menor capacidad por aumento de flujo, temperaturas bajas, y una proporción entre la dureza y la alcalinidad menor a 1.0.

Para la resina aniónicas se clasifican de igual manera; la aniónica de base fuerte son adecuadas para la eliminación de aniones en todas las aguas y existen varios tipos de estas dependiendo de la temperatura y alcalinidad del influente. Con respecto a las resinas de base débil, estas son usadas en aguas con niveles altos de sulfatos y cloruros o donde no se requiera la eliminación de alcalinidad.

Para la selectividad de resinas catiónicas y aniónicas, se requiere de un estudio complejo sobre la química del agua como influente y ha donde se va alimentar el agua con niveles bajos de estas sales para no causar problemas en un futuro.

En la siguiente figura se representa el principio básico del intercambio iónico; en la primera parte de la izquierda, se realiza la remoción de los cationes mencionados anteriormente intercambiándolos por iones de Hidrogeno (H) de la resina; después sigue segunda etapa, donde se remueven todos los aniones intercambiándolos por iones de la resina cáustica (OH). Si el deslizamiento o escape de iones ocurre entonces el proceso no es 100% eficiente, por lo que algunas plantas se instalan trenes de espere de combinaciones de camas con resinas catiónicas y aniónicas para mantener para remover aun más sólidos disueltos, como efluentes de ambas camas mencionadas.

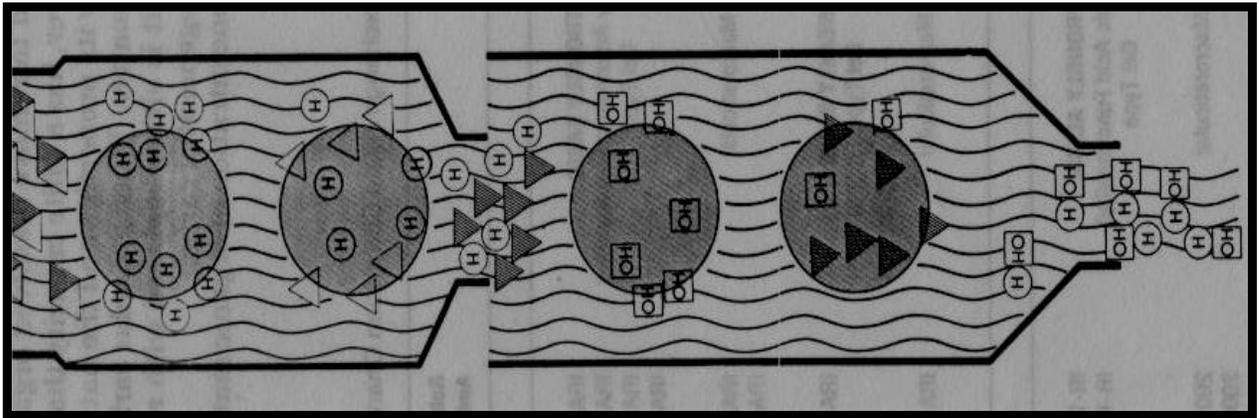


Figura 2.4. Principio básico de intercambio iónico⁴.

⁴ Intercambio iónico. Drew Principles of Water Treatment

2.5. Sistema de desmineralización en planta.

En la siguiente página se desglosa la distribución de equipos en la planta generadora de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, mediante el **Diagrama 2.2**. Este sistema comienza desde el suministro de *Agua Clarificada* hacia el filtro de carbón activado (*F.C.A*). El carbón granular activado usado como medio filtrante, este remueve residuales de cloro u otros oxidantes que pueden dañar a la resina catiónica como también orgánicos que pueden deteriorar a esta y ensuciar fuertemente las resinas aniónicas, también es usado para remover olor, sabor y otras impurezas.

Una vez realizado la tarea del carbón activado, el agua está lista para el sistema de intercambio iónico; la primera etapa es una cama con resina catiónica base fuerte (*CATIÓN*), capaz de remover todos los cationes dispersos en el agua como calcio, magnesio, sodio, fierro, etc., intercambiándolos por iones ácidos (H) de esta resina. En este proceso, al liberar ácidos, reaccionan con la alcalinidad del agua generando dióxido de carbono y ácido carbónico; para remover estos, el agua es suministrada a una torre descarbonadora (*T.D*), mediante una desgasificación por tiro forzado con aire a presión. El agua de salida de la torre descarbonadora, es alimentada hacia una cama aniónica con resina base fuerte, conocida en planta como *ANIÓN*, capaz de remover todos los aniones dispersos en el agua como cloruros, sulfatos, sílice, etc., intercambiándolos por iones alcalinos (OH).

Por último para asegurar la minimización de sólidos disueltos en el agua, la salida del *ANIÓN* es suministrada un lecho mixto (*L.M.*), esto es una combinación de resina catiónica y aniónica, paralelas horizontalmente sin tener contacto entre ellas. De esta manera se realiza otro intercambio de iones que no se lograron remover en las camas anteriores.

A medida que se remueven impurezas disueltas en este sistema, cada cama de resina necesita retrolavar por saturación de iones en ellas, es entonces cuando se necesita realizar la regeneración con Ácido Sulfúrico y Sosa Cáustica para la unidad catiónica y aniónica respectivamente. Para realizar dicha acción, en esta planta se cuenta con dos trenes de espera, es decir si se requiere retrolavar un tren por saturación, entonces se decide alinear el de espera para continuar con la desmineralización constante. Finalmente el agua desmineralizada almacenada, es bombeada a diferentes procesos en este complejo como a continuación se ilustra en el siguiente diagrama.

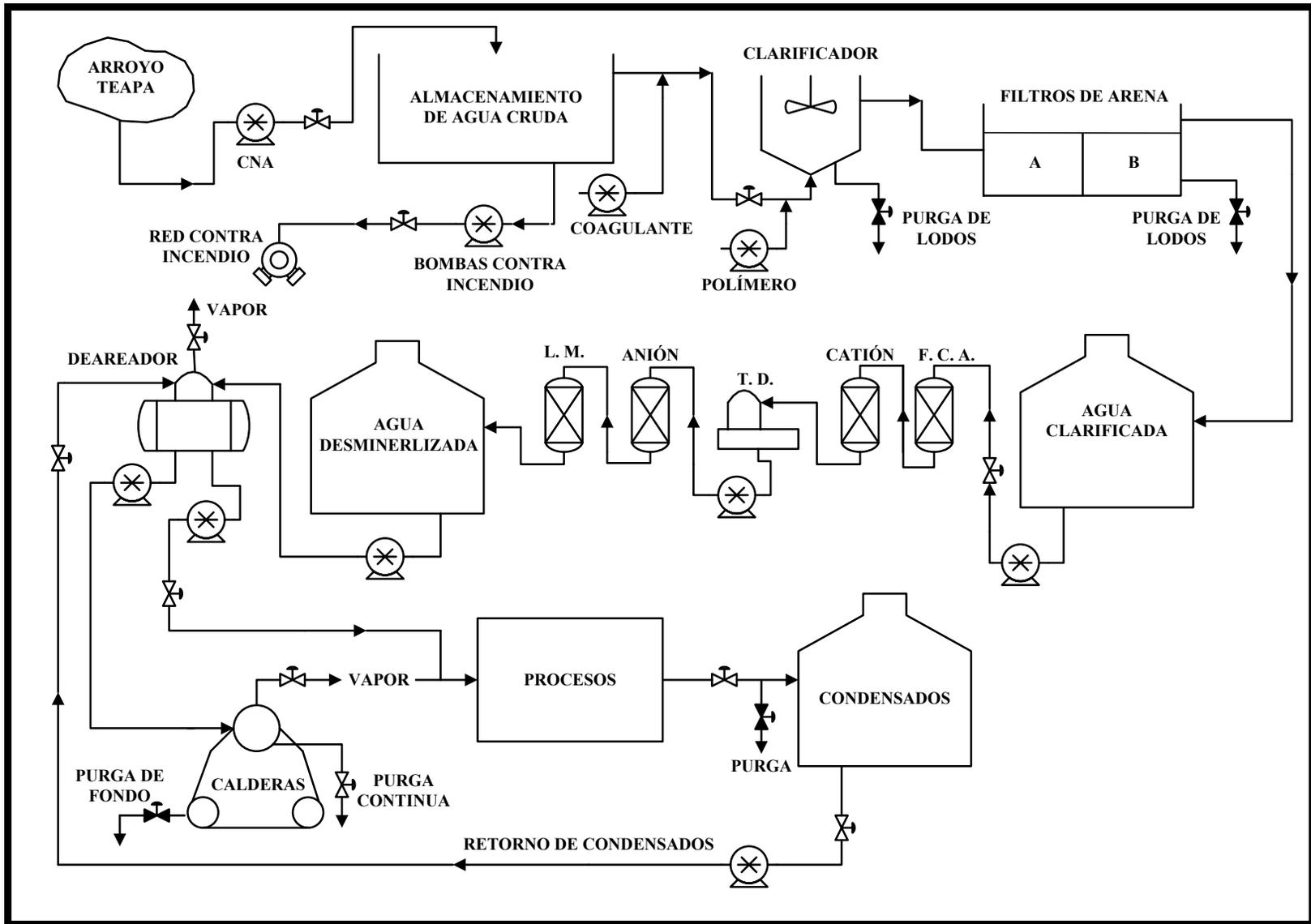


Diagrama 2.2. Desmineralización en planta.

2.6. Sistemas de enfriamiento.

Existen tres tipos de sistemas de enfriamiento; *los de un solo paso*, de *recirculación cerrados* y *los de recirculación abiertos*. Para el primer tipo, en este sistema el agua atraviesa el equipo de intercambio de calor desde su fuente y después se desecha, el agua de enfriamiento no se recicla, de modo que los problemas que pudieran surgir primordialmente son determinados por la composición del agua y el consumo excesivo de la misma afectando el costo en operación.

Los sistemas de recirculación cerrados, constan de dos sistemas relacionados entre sí: un sistema de agua de recirculante totalmente sellado y el intercambiador que retira el calor de este sistema. La misma agua se recircula continuamente y solo se pierde una cantidad mínima por fugas en los sellos de bombas o cuando se drena por alguna reparación, es por esto que los sistemas cerrados requieren muy poca agua para compensar pérdidas. El sistema de enfriamiento de un motor de automóvil es el ejemplo clásico de un sistema cerrado; el agua que recircula por las galerías del motor se lleva el calor que éste genera hasta el radiador, que es el intercambiador de calor donde esta agua se enfría.

Los sistemas de recirculación abiertos, en el ámbito industrial la mayoría del calor excedente se remueve por medio de estos sistemas; en los que el agua se enfría de dos maneras: por transferencia de calor sensible y por evaporación. Conforme una muestra de agua se enfría, trasladando el calor a un aire más frío, se dice que tiene lugar la transferencia de calor sensible. Pero al mismo tiempo, al entrar en contacto el agua caliente con aire más frío, parte del agua se convierte en vapor, a esto se le conoce como evaporación y cualquier sustancia que se evapora, al convertirse de líquido a gas se lleva parte de la energía térmica. El líquido restante será menor en cantidad y su temperatura descenderá.

En las torres de enfriamiento de un 80 a un 90% del descenso de temperatura se debe a la evaporación, sólo del 10 al 20% por transferencia de calor sensible. El método más frecuente para retirar el calor de un sistema de recirculación abierto, es la Torre de Enfriamiento; existen varios diseños cuyo nombre indica el método y dirección del flujo del aire. Las torres emplean tiro de aire natural o tiro forzado por medios mecánicos para incrementar el contacto agua-aire y mejorar la evaporación.

2.6.1. Torres de enfriamiento.

La necesidad de remover el calor no deseado es común en industrias manufactureras de procesos, comerciales y en sistemas de aire acondicionado. El calor puede ser disipado por radiación, convección y por conducción, el agua es uno de los medios más comunes para remover el calor no deseado, como resultado de esto, grandes cantidades de agua son usadas por industrias para propósitos de enfriamiento. Las plantas industriales utilizan sistemas de enfriamiento por una diversidad de motivos, aunque muchas lo hacen para condensar vapor o para condensar y enfriar líquidos empleados en el proceso.

Sin importar el tipo de equipos utilizados para intercambio de calor en plantas, el proceso es el mismo: *dos corrientes con temperaturas diferentes cruzan el equipo de transferencia de calor sin entrar en contacto una con la otra*⁵. El calor de la corriente con más alta temperatura se traslada a través de la superficie metálica, hacia la corriente más fría, removiendo así el calor no deseado de la primera corriente, a esto se le llama el proceso de convección.

En la industria cada día se emplean más equipos donde se usa agua como medio de enfriamiento (condensadores, enfriadores, etc.), por ser esta barata, con una gran capacidad para absorber calor. Pero aun así a ninguna industria le conviene descargar al drenaje esa agua que ha removido el calor no deseado en otros procesos, ni tampoco almacenarla esperando que se enfríe puesto que creará como resultado el tener que almacenar volúmenes enormes de agua. Debido a esto, la solución óptima es la operación de torres de enfriamiento; que tiene por objeto enfriar dicha agua que retorna de diferentes procesos y recircularla, aprovechando al máximo este recurso natural.

Entonces definimos a una *torre de enfriamiento*, como un equipo que reduce la temperatura del agua de retorno que contiene calor removido de un proceso, exponiéndola a una corriente de aire natural o forzado mecánicamente.

⁵ www.wikipedia.com

2.6.2. Tipos de torres de enfriamiento.

Generalizando, existen dos tipos de torres de enfriamiento en sector industrial, las de tiro natural y las de tiro mecánico. Las de *tiro natural*, se aprovechan las corrientes de aire, el agua se bombea hacia la parte superior de la torre y se rocía por boquillas suspendidas en esa sección. Las paredes laterales de la torre cuentan con celosías ajustables similares a persianas, que ajustan la cantidad de aire que ingresa. El agua caliente que cae dentro de la torre, entra en contacto con aire más frío, calentándolo y provocando que suba dentro de la torre. Al subir el aire caliente disminuye la presión de aire en la sección inferior de la torre, jalando así más aire frío a través de las persianas. El aire al atravesar el agua se calienta y así se repite el proceso de evaporación; el agua restante ya enfriada se recolecta en el fondo de la torre y entonces se realiza la recirculación constante. La eficiencia de la torre por corriente natural depende de la diferencia de temperatura entre el aire caliente y húmedo que se encuentran dentro de la torre y el más seco y frío del exterior. A mayor diferencia en temperatura y humedad, mayor eficiencia operativa por la mayor velocidad de evaporación.

Con respecto a las torres de enfriamiento de *tiro mecánico*, son las que han sustituido a las anteriores, ya que estas utilizan un ventilador para provocar una mayor circulación de aire en el interior de la torre; estos diseños disminuyen los costos de construcción porque se puede lograr el mismo rechazo de calor en otra torre de menor tamaño con tiro mecánico que una con tiro natural de mayor tamaño. Estas se clasifican en torres de enfriamiento de tiro forzado e inducido.

Las torres con *tiro forzado*, utilizan un soplador colocado en la base a un lado de la torre para forzar el aire entrar a la torre en dirección horizontal y después a contra corriente de las gotas de agua que van cayendo. Esta asegura una mezcla muy íntima del agua y aire, que mejora la evaporación. En la parte superior de la torre se colocan eliminadores de rocío, que minimizan la cantidad de agua (brisa) que se pierde con la corriente de aire de salida.

Las torres de *tiro inducido*, absorben aire hacia el interior de la torre mediante un ventilador colocado en la parte superior, este succiona aire húmedo y cálido, expulsándolo de la torre. Así, reduce la presión en la parte inferior de la torre y a través de las compuertas o persianas entra aire fresco y seco del exterior, continuando el proceso enfriamiento en operación constante.

En esta planta generadora de Servicios Auxiliares, el sistema de enfriamiento es operado mediante dos torres de tiro inducido, por lo que a continuación ilustraremos el principio de sólo este tipo de torre. En la siguiente página se ilustra una torre de enfriamiento de este tipo, con cinco celdas. Dependiendo de la cantidad de agua con calor excedente a enfriar, se decide en diseño, la cantidad de celdas en una torre de enfriamiento para mantener la eficiencia del enfriamiento.

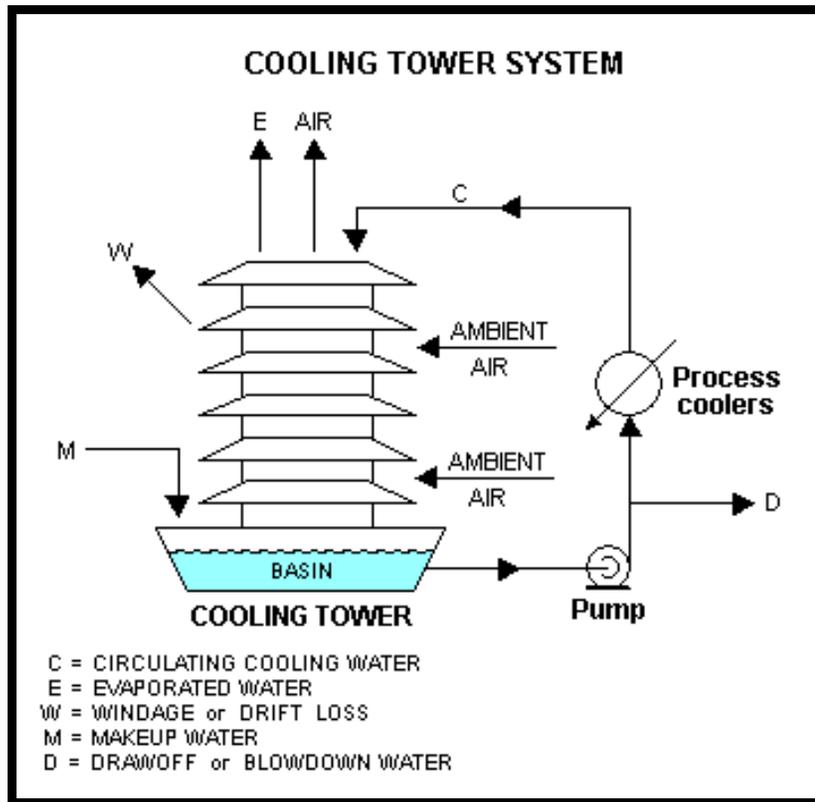


Figura 2.5. Torre de enfriamiento con tiro inducido⁶.

- M=** Es la alimentación de agua de repuesto que se evaporó, hacia el BASIN o pileta inferior de la torre donde se recolecta el agua que cae ya enfriada, para volver a recircular a procesos de intercambio de calor.
- D=** Drenado o purga continua
- C=** Agua de retorno caliente hacia la parte superior de la torre de enfriamiento, para ser enfriada.
- E=** Agua evaporada expulsada por el ventilador del tiro inducido.
- W=** Pérdidas de agua por salpicaduras en las persianas al caer el agua en forma de gotas, ya que en la parte superior de la torre, contiene unas charolas con pequeños orificios para extender el agua en forma de gota y remover el calor intercambiado en los procesos donde se suministra fría.

^{6,7} www.wikipedia.com

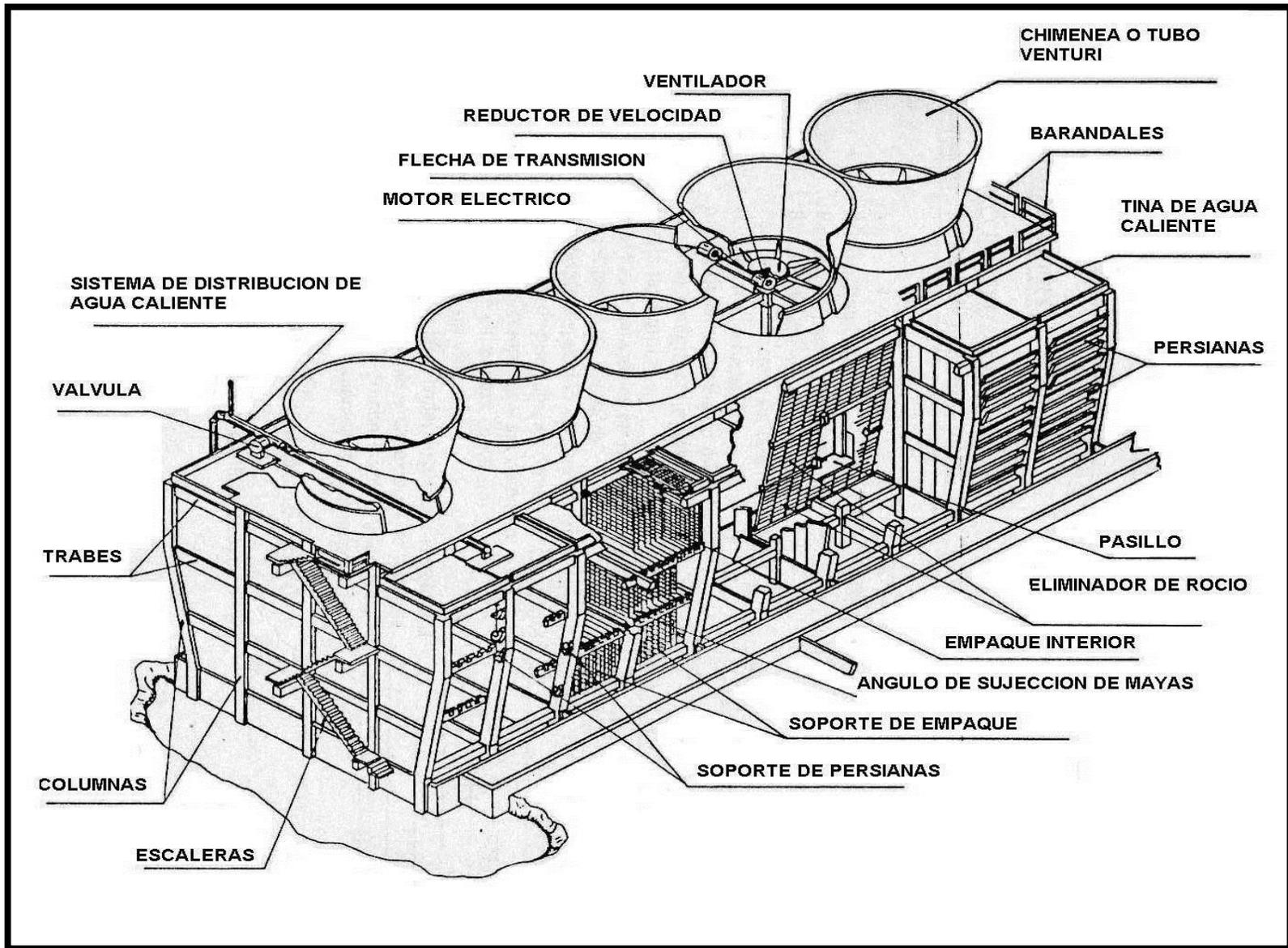


Figura 2.6. Partes de una torre de enfriamiento con tiro inducido⁷.

2.7. Sistema de torres de enfriamiento en planta.

En la siguiente página se desglosa la distribución de equipos en la planta generadora de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, mediante el **Diagrama 2.3**. Este sistema comienza desde el bombeo de *Agua Clarificada* como repuesto hacia la *Torres de Enfriamiento No.1* y *No.2* con cinco y dos celdas respectivamente.

El agua que contiene el bacín de cada torre, es suministrada a plantas de procesos mediante el *Cabezal de Suministro*; el agua de enfriamiento remueve el calor no deseado en intercambiadores por convección. El agua con el calor removido, sale de intercambiadores recirculando mediante el *Cabezal de Retorno* que contiene una *Purga* continua, controlada en línea asistida en operación y en base a ciclos de concentración con respecto a los sólidos disueltos en el agua de retorno; la otra cantidad mayor de agua, retorna en la parte superior de las torres conocidas como charolas o tinas de agua caliente en cada celda, cayendo en interior de la torres en forma de gotas para remover el calor mediante una corriente de aire inducida por cada ventilador en celdas; en chimeneas o tubo venturi se observa constantemente la remoción del calor en forma de *Vapor* hacia la atmósfera.

Cabe mencionar la importancia del tratamiento químico para el sistema de enfriamiento, este se base en pH neutro controlándolo con la adición de Ácido Sulfúrico. Manteniendo el agua cerca a un pH neutro, se adicionan un tratamiento a base de inhibidores de corrosión para proteger las paredes internas de las líneas por donde circula en agua de enfriamiento, creando una capa protectora que minimiza el fenómeno natural de corrosión. Al mismo tiempo se le adiciona dispersante de sales para evitar las incrustaciones por dichas sales y removerlas por purga continua. Para el control microbiológico, se dosifica Hipoclorito de Sodio para matar todos tipos de desarrollo de bacterias, hongos, algas y sulfato reductoras que afecten la eficiencia del sistema.

El balance para recuperar agua perdida por purga continua y en forma de vapor, es mediante el agua de repuesto. En operación constante el agua de repuesto se alimenta en base un nivel establecido del bacín con instrumentación, si el nivel baja, entonces se abren válvulas para alimentar agua clarificada el bacín, de ahí se repite este ciclo de enfriamiento manteniendo una recirculación, purgado, vaporización y recuperado de agua de enfriamiento en este sistema. En la siguiente página se ilustra la distribución de este sistema en planta generadora de servicios auxiliares.

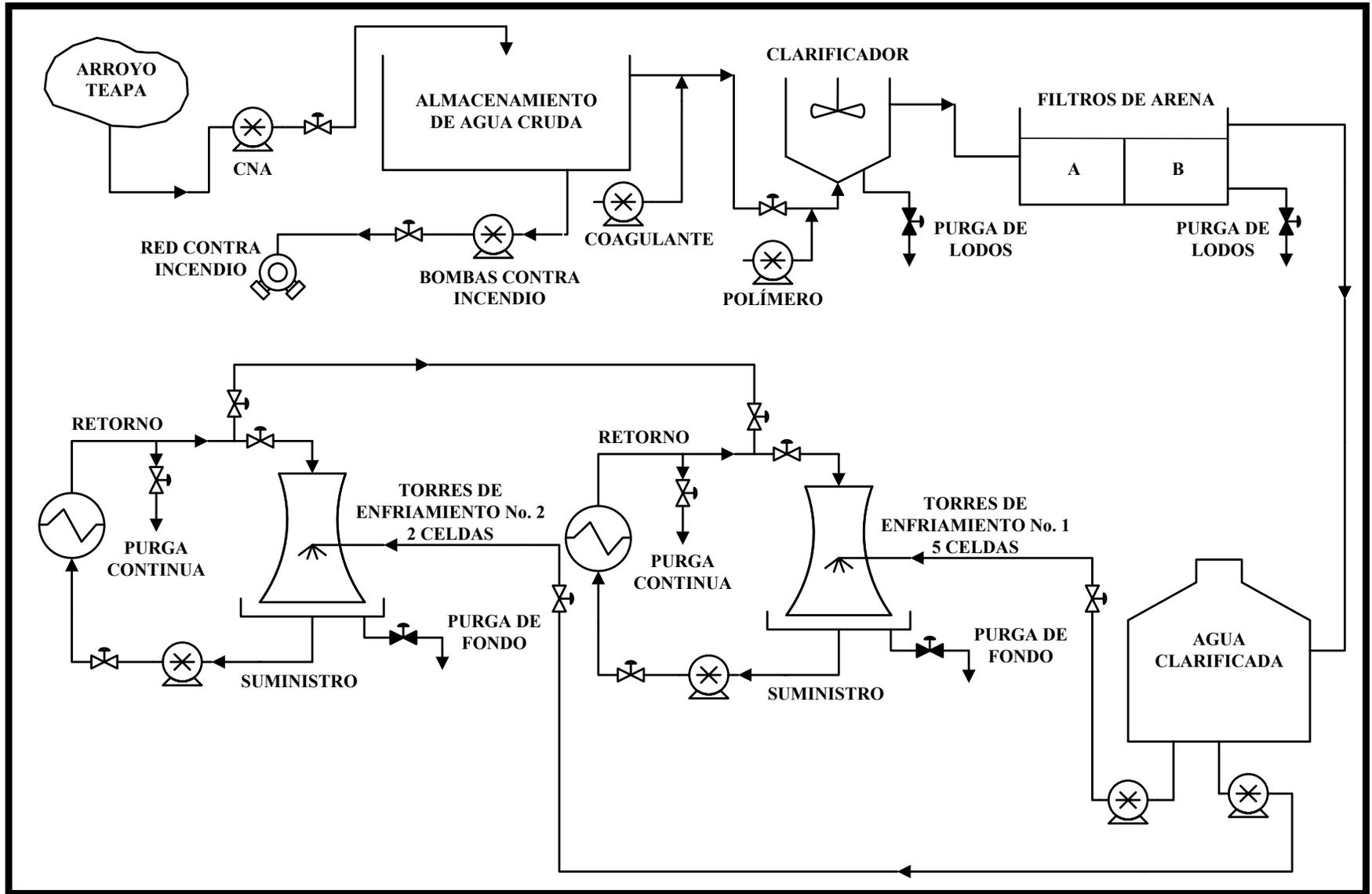


Diagrama 2.3. Sistema de enfriamiento en planta por tiro inducido.

2.8. Sistema de distribución de agua de servicios en planta.

En la siguiente página se ilustra la distribución en la planta generadora de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera mediante el **Diagrama 2.4**. Este sistema comienza desde el bombeo de *Agua Clarificada* hacia los diferentes puntos del complejo.

Donde se mantiene un flujo constante hacia *Oficinas, Comedor, Lavandería, Departamento de EHS (Ecología, Higiene y Seguridad)* para las diferentes actividades donde el agua es necesaria. Para el caso de *Talleres y Almacenes* es necesario contar con regaderas de seguridad por ejemplo, donde en caso de accidente al personal por salpicadura, de inmediato se recurre al uso de esta agua o simplemente para trabajos de limpieza, obra civil, etc.

Para las áreas de *Procesos* existes tomas de agua habilitadas en puntos estratégicos con válvulas de un tamaño estandarizado, para sus diferentes usos, Por ejemplo la limpieza del área, recuperación de niveles en ciertos tanques, trabajos por compañías externas, trabajos con mata chispas o manguereado continuo en lugar donde se produzca chispas para inhibir su extensión, servicio a baños para los cuartos de control, para enfriar con serpentines en varios puntos de muestreo, etc. Cabe mencionar que estas áreas también cuentan con regaderas habilitadas, en diferentes puntos estratégicos por seguridad del personal en caso de salpicaduras de químicos que no reaccionen con el agua.

Por último el sistema de *Efluentes*, donde todas las descargas de las plantas llegan para ser tratadas con un sistema de tratamiento de lodos y filtración, para descargar aguas residuales a la naturaleza con parámetros dentro de la ley en México. Incluso en área de efluente se utiliza esta *Agua Clarificada* para realizar diluciones, aforar algunos tanques, limpieza, habilitación de regaderas, etc. Finalmente en la siguiente página se ilustra la distribución de este sistema en planta generadora de servicios auxiliares.

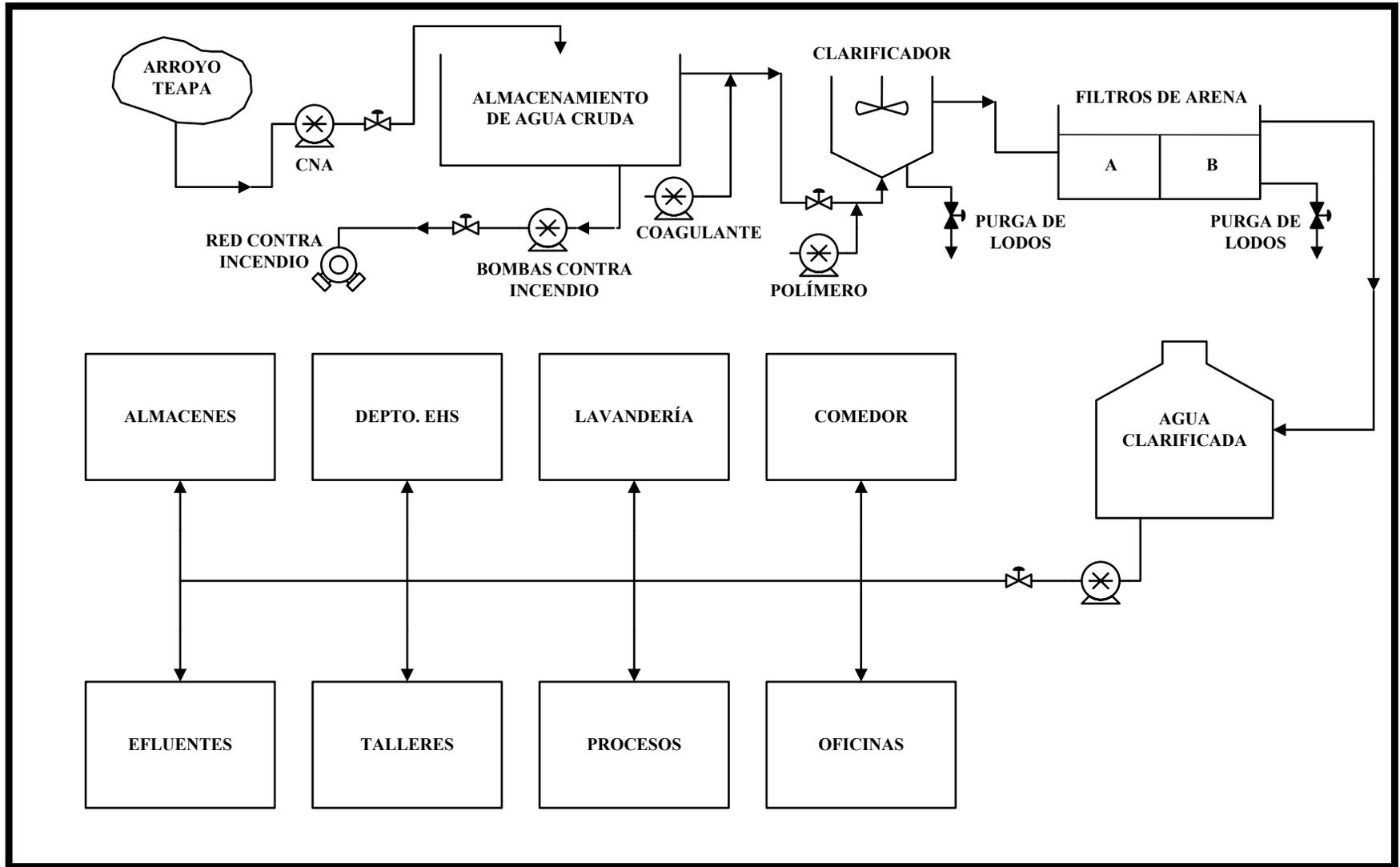


Diagrama 2.4. Distribución de Agua de Servicios.

CAPITULO III

EVALUACIÓN DE CONTINGENCIA EN SERVICIOS AUXILIARES

3.1. Descripción del problema.

Como ya se plasmó anteriormente, el sistema de agua superficial en planta de Servicios Auxiliares (**Diagrama 2.1.**), cuenta con un suministro por CNA hacia un tanque de almacenamiento para mantener cierto nivel de operación respecto a la demanda en el complejo en los diferentes sistemas también ya descritos en el capítulo anterior.

Existe la posibilidad de suspender el suministro de agua superficial hacia el complejo, por diferentes escenarios en bombeo de CNA. Esto afecta la producción del complejo, ya que la capacidad de almacenamiento tiene un tiempo de operación. En base a datos reales se explica lo que pasaría si se llegase a tener dicha contingencia.

Empezando con el *Tanque del Almacenamiento de Agua Cruda*, respecto al **Tabla A2** en la sección de **Anexos**, se tiene que una capacidad 20,000 M³ con un nivel de operación disponible de 95% o 19,000 M³, pero por diseño se requieren 85% disponible de agua para la *Casa de Bombas Contra Incendio*, entonces:

El volumen disponible de agua cruda o superficial hacia el sistema de *Clarificación*, interrumpiendo el suministro sería:

$$19,000 \text{ M}^3 - [(19,000 \text{ M}^3 * 0.85)]$$
$$19,000 \text{ M}^3 - 16,150 \text{ M}^3 = \mathbf{2,850 \text{ M}^3}$$

Ahora en base a consumos con respecto al **Tabla A3** en la sección de **Anexos**, se tiene un promedio total de 4,029 M³ por día de agua cruda hacia el *Clarificador*, relacionando con el volumen de agua disponible en tanque de almacenamiento, se deduce que: 4,029 M³ se consumen en 24 hrs, entonces en cuanto tiempo se consumirán los 2,850 M³ disponibles en el *Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda*. Esto es como sigue:

$$X_{tc} = 2,850 \text{ M}^3$$
$$24 \text{ hrs} = 4,029 \text{ M}^3$$
$$X_{tc} = (24 \text{ hrs} * 2,850 \text{ M}^3) / 4,029 \text{ M}^3$$
$$X_{tc} = \mathbf{16.98 \text{ hrs}}$$

Por lo que se estiman que se tienen **“16 horas”** para seguir suministrando agua al cruda al sistema de Clarificación, en caso de interrupción en suministro de agua superficial hacia el tanque de almacenamiento; respectando el 85% de nivel disponible para la *Casa de Bombas Contra Incendio* en la planta generadora de Servicios Auxiliares en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

Una vez transcurridas las 16 horas estimadas anteriormente, se procede a bloquear el flujo de agua superficial o cruda hacia el sistema de *Clarificación*, poniendo fuera de operación el tratamiento de con coagulante, polímero y biocida; dejando disponible el 85% ó 16,150 M³ en *Tanque del Almacenamiento de Agua Cruda*.

Ahora se tomarán el 95% de agua clarificada disponible en tanque almacenamiento para suministrar a la Unidad Desmineralizadora, Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios, esto es 6,261 M³ disponibles en base a la **Tabla A2** en la sección de **Anexos**. En base a consumos de la **Tabla A3** en la sección de **Anexos**, se tienen los siguientes promedios:

Agua clarificada al sistema de Desmineralización = 1,393 M³
Agua clarificada al sistema de Torres de Enfriamiento = 4,176 M³
Agua clarificada al sistema de Agua de Servicios = 713 M³

Sumando estos tres consumos, se obtiene un total = 6,282 M³/Día

Entonces se realiza un regla de tres, para saber en cuanto tiempo se consumirán los 6,261 M³ disponibles en *Tanque de Almacenamiento de Agua Clarificada*:

$$\begin{aligned} X_{\text{tcl}} &= 6,261 \text{ M}^3 \\ 24 \text{ hrs} &= 6,282 \text{ M}^3 \\ X_{\text{tcl}} &= (24 \text{ hrs} * 6,261 \text{ M}^3) / 6,282 \text{ M}^3 \\ X_{\text{tcl}} &= \mathbf{23.92 \text{ hrs}} \end{aligned}$$

Para estimar el tiempo total que se tiene en caso de interrupción en suministro de agua superficial por CNA, solo se suman los tiempos calculados anteriormente:

$$X_T = X_{\text{tc}} + X_{\text{tcl}}$$

Donde:

X_{tc} = Tiempo disponible para suministrar agua superficial o cruda al sistema de *Clarificación*.

X_{tcl} = Tiempo disponible para suministrar agua clarificada a los sistemas de *Desmineralización, Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*.

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} X_T &= 16 \text{ hrs} + 23 \text{ hrs} \\ X_T &= \mathbf{39 \text{ hrs}} \end{aligned}$$

Por lo que se estima que, se tienen **“39 horas”** disponibles para mantener la planta generadora de Servicios Auxiliares en operación normal, por interrupción en suministro de agua superficial. De lo contrario, cercano a este tiempo se tendrá que realizar paro no programado afectando a las áreas de producción.

3.2. Estrategia aplicada por falla en suministros de agua cruda en 2006.

En Junio de 2006, en planta generadora de Servicios Auxiliares se tuvo una contingencia por falla en bomba propiedad de CNA, que suministra agua cruda hacia el tanque de almacenamiento en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera; donde personal al enterarse de este suceso decidió aplicar la siguiente estrategia.

1. Emitir un comunicado a todo el complejo por correo electrónico a todos las jefaturas de departamentos, donde se describía brevemente la contingencia y solicitando minimizar el uso de la red de *Agua de Servicios* para ahorrar esta.
2. Comunicar a plantas de producción que mantuvieran al máximo la recuperación de condensados, para retornar la cantidad posible a su tanque de almacenamiento en planta generadora de servicios auxiliares.
3. La operación de sistema de desmineralización se mantuvo en condiciones normales de operación, con su alimentación constante de agua clarificada.
4. Se bombea agua de pozos únicamente al sistema de Torres de Enfriamiento, como agua de repuesto, para ahorrar agua clarificada en tanque de almacenamiento de servicios auxiliares.
5. Verificar constantemente pH y conductividad eléctrica (ver **Tabla A5** en sección de **Anexos**) en agua del sistema de TE's, con señal de instrumentación en línea mostrada en panel de cuarto de control de servicios auxiliares, para mantenerlos en rango.
6. Una vez establecido el suministro de agua s por CNA, entonces recuperar los niveles de tanque de almacenamiento de agua superficial y clarificada respectivamente.
7. Al tener el nivel normal de operación del tanque de almacenamiento de agua clarificada, entonces poner fuera de operación la alimentación de agua de pozos y alinear el agua clarificada al sistema de TE's como agua de repuesto.
8. Retornar a condiciones normales de operación.

Cabe mencionar que esta estrategia fue aplicada como un plan emergente por personal de la planta de Servicios Auxiliares y con algunas confusiones operativas como por ejemplo, ¿hacia qué sistema suministrar el agua de pozo?, afortunadamente se arregló el problema en bombeo de agua superficial y se retorno a actividades normales de operación. Debido a este suceso se estudiarán alternativas de ahorro de agua más eficaces, para aumentar el tiempo disponible calculado anteriormente y sin afectar la eficiencia de los equipos involucrados, en caso de una contingencia similar o por interrupción prolongada de agua superficial por Comisión Nacional de Agua (CNA) hacia Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

3.3. Posibles alternativas en caso de contingencia.

Con el objetivo de preparar una mejor estrategia por contingencias ya mencionadas anteriormente, se analizarán diferentes alternativas que ayuden al ahorro de agua clarificada y el aumento de tiempo disponible en base a suministros a los diferentes sistemas en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera; es decir, encontrar una manera de realizar movimientos operativos adecuados para combatir la emergencia sin afectar los parámetros establecidos en dicho complejo y minimizar efectos secundarios después de aplicar una acción conveniente para este escenarios:

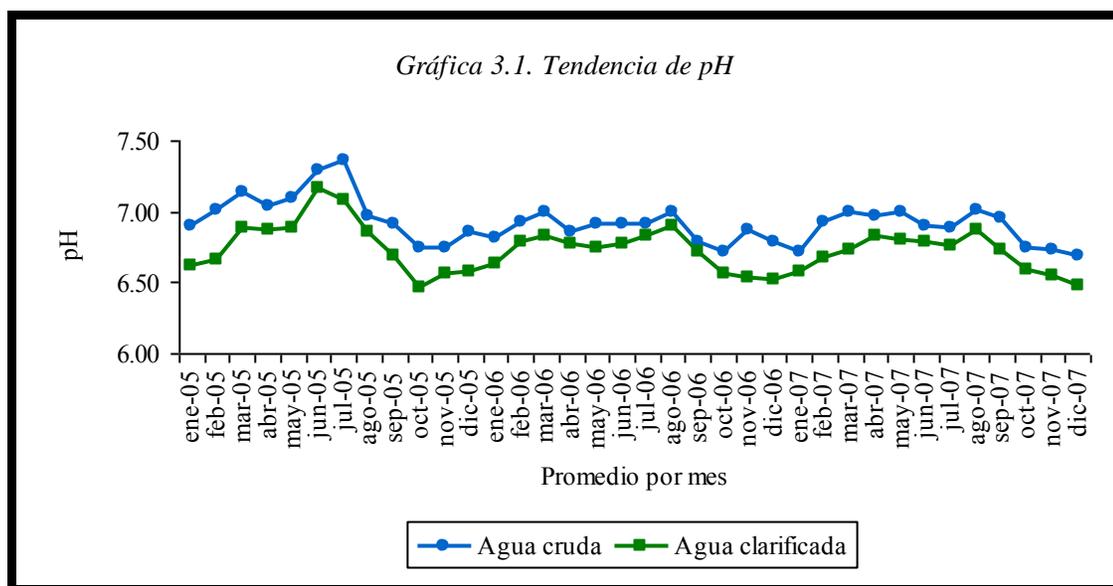
1. Suministro de agua de pozo al *tanque de almacenamiento de agua superficial*.
2. Suministro de agua de pozo al sistema de *Desmineralización*
3. Suministro de agua de pozo a los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de servicios*.

En Celanese Mexicana Complejo Cangrejera cuenta con una distribución de pozos en diferentes puntos, para suministrar estas aguas subterráneas a los diferentes procesos, pero la química de estas varía a las de aguas superficiales, sobre todos en la concentración de sólidos disueltos. Por lo que es importante contemplar los niveles de impurezas que podrían afectar si se suministran constantemente a los sistemas en la planta generadora de Servicios Auxiliares.

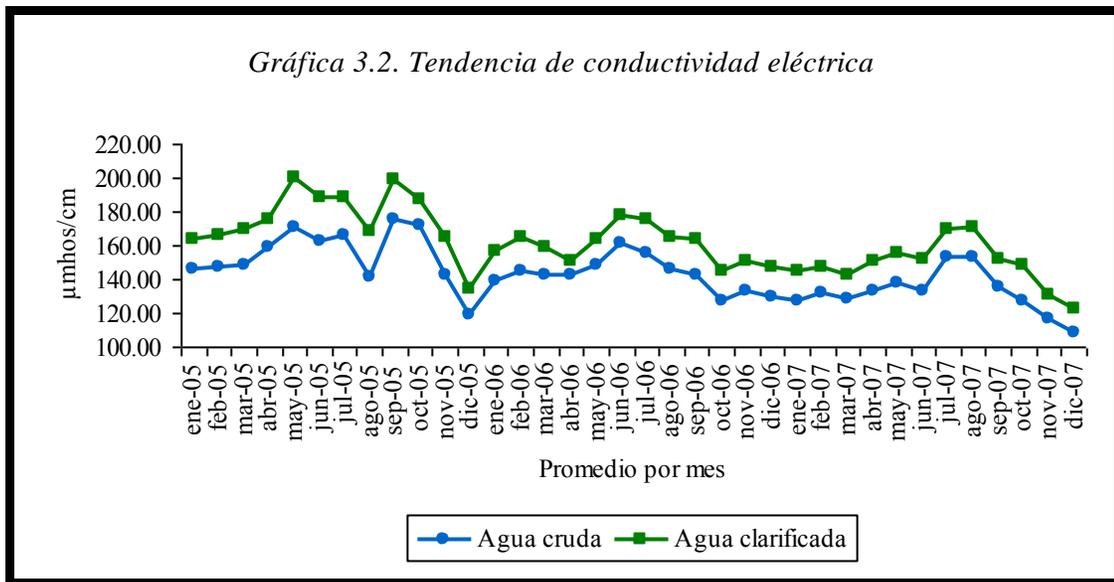
3.3.1. Alternativa No. 1.

Esta estrategia es alimentar *agua subterránea o de pozo hacia el tanque de almacenamiento de agua superficial* una vez se halla interrumpido el suministro de la misma, por CNA que afecte al los sistemas en el Complejo Cangrejera.

En cuestiones de volumen en almacenaje, el problema quedaría resuelto aparentemente para seguir con operaciones normales de operación y seguir suministrando agua al sistema de Clarificación sin ningún problema. Pero en base a términos de tratamientos de aguas, el agua de pozo contiene menor turbidez y una mayor cantidad de impurezas disueltas que el agua cruda, lo cual impactaría a la calidad del agua en términos de concentraciones en sólidos disueltos. En las siguientes gráficas en base a las **Tablas A6** y **A7** en sección de **Anexos** respectivamente, se ilustra de comportamiento de algunos parámetros, en agua superficial almacenada y agua filtrada después de haber pasado por el proceso de clarificación.

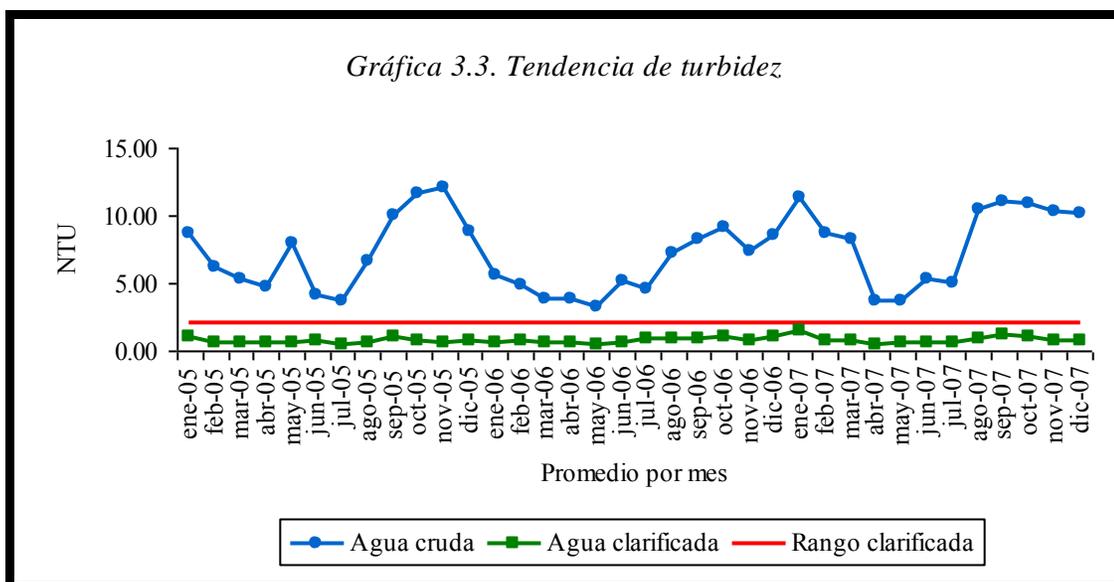


En la *Gráfica 3.1*, se observa una tendencia en pH de agua clarificada a estar por debajo que el agua cruda, esto es por la adición de *Sulfato de Aluminio*. Al adicionar este coagulante el pH en agua clarificada tiende a bajar por la dosificación constante para remover partículas suspendidas como se explicó en el *Capítulo I*. Adicionando agua de pozo, se tendría que monitorear el comportamiento de pH en agua clarifica realizar análisis especiales y no afectar los parámetros establecidos (**Tabla A4** y **A5** sección de **Anexos**) donde se suministra esta agua hacia la planta generadora de *Servicios Auxiliares*.



Respecto a niveles de conductividad eléctrica (CE), la tendencia en agua clarificada es incrementarse ligeramente que el agua cruda o superficial, esta se observa en la *Gráfica 3.2*; ya que al adicionar el coagulante que aporta cantidades continuas de sólidos disueltos, incrementa la conductividad.

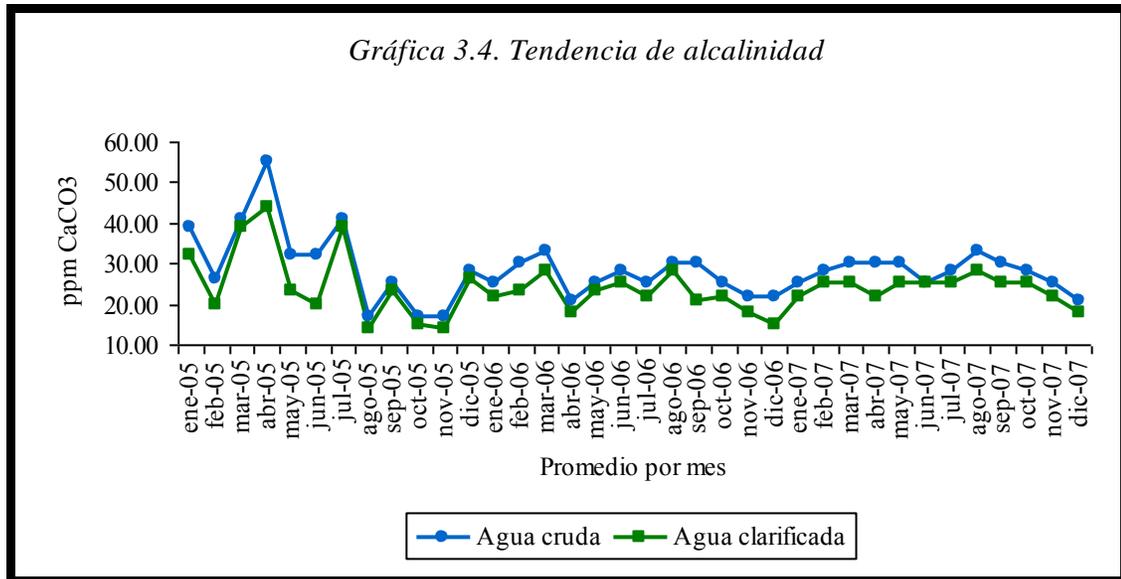
Siguiendo con esta estrategia, al suministrar agua de pozo al *Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda o Superficial*, la CE sólo se incrementaría por mayor cantidad de impurezas disueltas como se observa en los análisis de la **Tabla A9** en sección de **Anexos**; en Pozo 1 y 2 se tienen valores de CE por arriba 300 y 200 µmhos respectivamente, por lo que la tendencia sería parecida a la *Gráfica 3.2*, ya que los sólidos disueltos se adicionarán al tanque de agua y el sistema de Clarificación siguiera operando sin cambios mediante la contingencia.



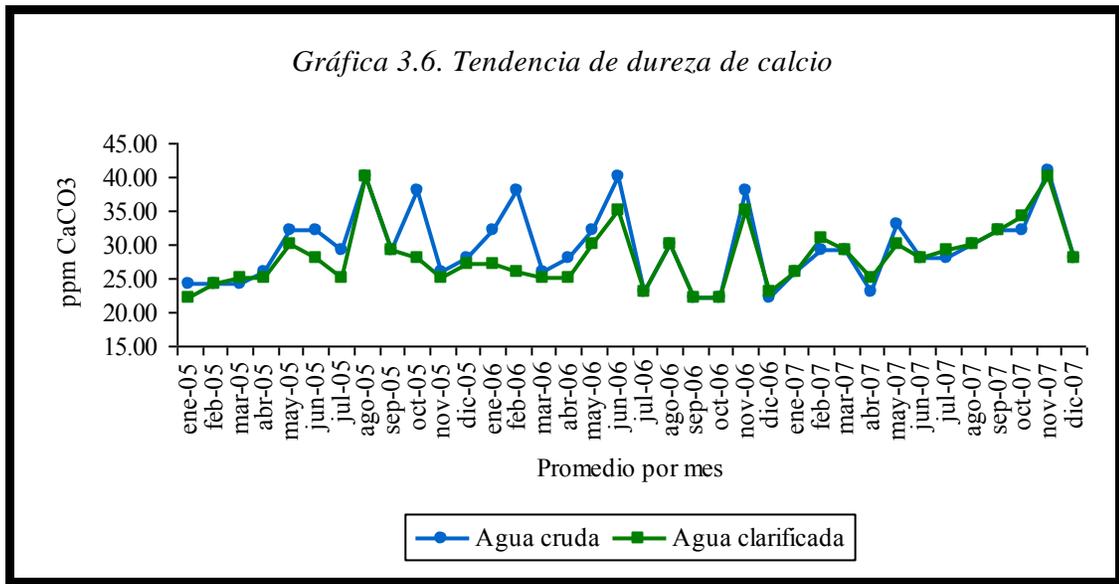
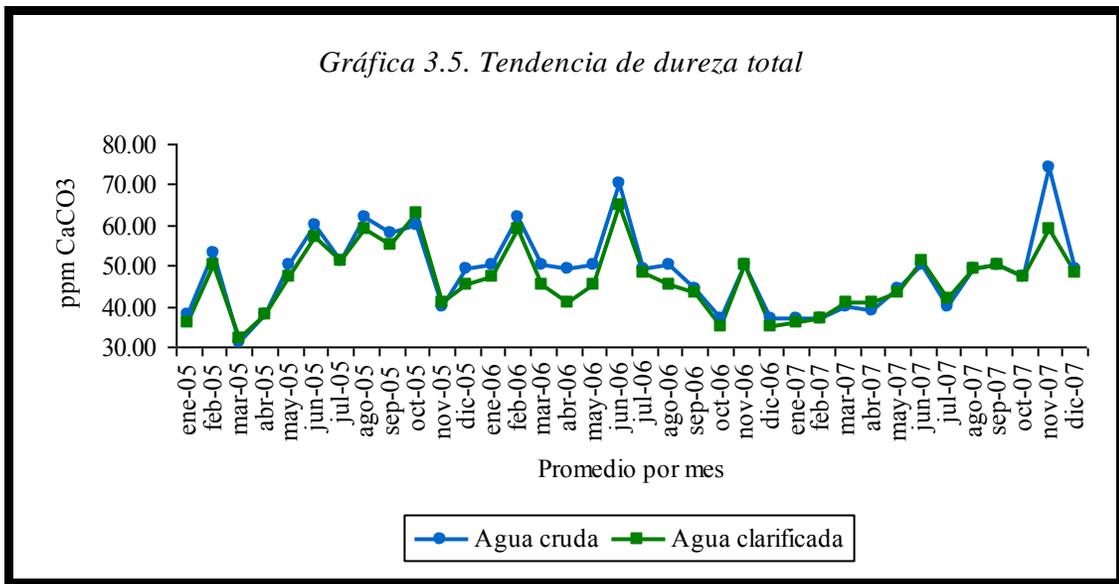
Por otro lado el objetivo es mantener sobre rango la turbidez de agua clarificada (*Tabla A5* en sección de **Anexos**). En *Gráfica 3.3*, se observa una variación en turbidez en agua cruda o superficial, pero no quiere decir que el tratamiento en el sistema de Clarificación sea inadecuado, es decir, si observamos la tendencia de agua cruda, se nota una variabilidad en los diferentes promedios por mes, esto se debe a la concentración de sólidos suspendidos que varía en diferentes épocas del año desde aguas arriba hasta llegar el tanque de almacenamiento. Por otro lado, la tendencia en agua clarificada, mantiene un promedio de **0.74 NTU** por debajo del rango establecido (*Tabla A5* en sección de **Anexos**) por especialistas de tratamiento de aguas en planta generadora de Servicios Auxiliares.

Analizando la **Alternativa No.1** de *suministrar agua de pozos al tanque de almacenamiento de agua cruda o superficial*, en cuestiones de Turbidez no se tendría problemas en la salida del sistema de *Clarificación* para alimentar a los diferentes sistemas en planta. El problema sería alimentar exceso en sólidos disueltos, ya que el agua subterránea contiene niveles mínimos de sólidos suspendidos, pero una cantidad elevada en impurezas disueltas, hasta 3 ó 4 veces más que el agua superficial. Lo cual impactaría en la concentración de Alcalinidad, Durezas, Sílice, Cloruros, Fe; alterando algunos parámetros al suministrar a los sistemas de *Desmineralización* y *Torres de Enfriamiento* con mayor impacto en sus rango establecidos (*Tabla A5* en sección de **Anexos**). Desafortunadamente se tiene pocos análisis de pozos para la ilustrar a detalle por razones operativas y bombas fuera de operación en mantenimiento; sólo en día de contingencia personal tomo muestras para analizar las concentraciones de impurezas disueltas (ver *Tabla A9* en sección de **Anexos**).

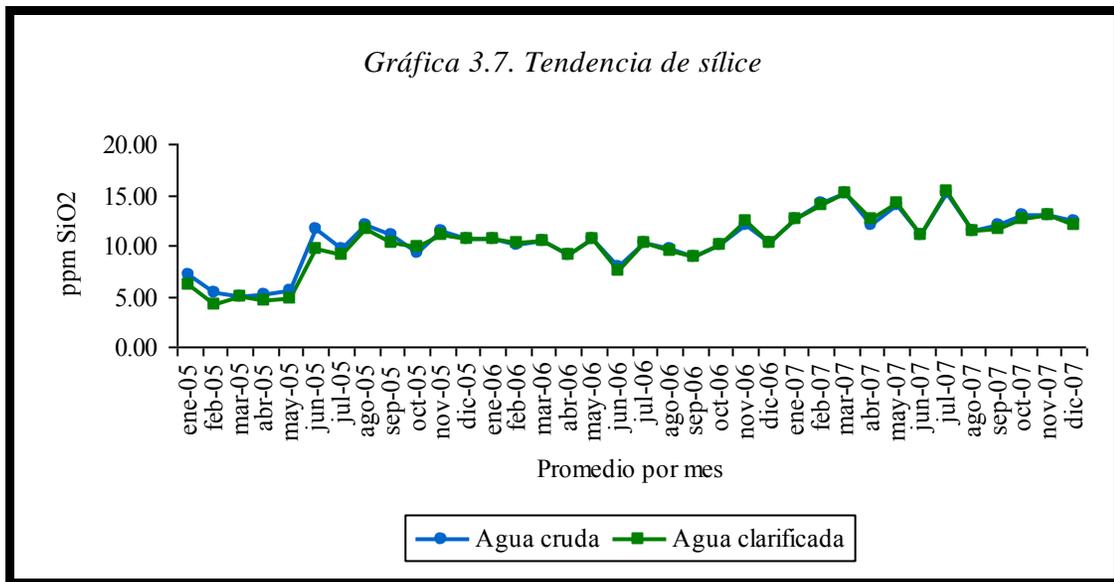
En las siguientes gráficas en base a las **Tablas A6** y **A7** en sección de **Anexos**, se ilustran tendencias de algunas de estas impurezas disueltas en agua cruda y clarificada; durante el 2005 hasta el 2007.



En la *Gráfica 3.4* la Alcalinidad de agua clarifica también va en función de la adición del *Sulfato de Aluminio* en el sistema de Clarificación; como ya se mencionó antes, al adicionarse este coagulante a la salida del tanque del almacenamiento de agua cruda, baja el pH y por consiguiente Alcalinidad. En la gráfica se logra apreciar la tendencia de agua cruda que se encuentra por arriba de los valores de agua clarifica. Por lo esta variable graficada, dependería del pH de agua de pozos para alimentar al tanque de almacenamiento de agua superficial, se tendría que monitorear valores de pH en agua clarificada para saber valores con que suministraría a los diferentes sistemas (**Tabla A5** en sección de **Anexos**) en planta generadora de *Servicios Auxiliares* con el sistema de Clarificación (**Capítulo I**) operando sin cambios mediante la contingencia.



Al suministrar agua de pozo al *Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda o Superficial*, las Durezas graficadas de agua cruda y clarifica sólo se incrementarían por mayor cantidad de impurezas como se observa en los análisis de la **Tabla A9** en sección de **Anexos**; en Pozo 1 y 2 se tienen valores de Dureza Total y Calcio altos respectivamente, por lo que la tendencia sería parecida a la *Gráficas 3.5 y 3.6*, ya que los sólidos disueltos se adicionarán al tanque de agua y el sistema de Clarificación siguiera operando sin cambios mediante la contingencia.



Para el caso de Sílice disuelto, los niveles en partes por millón (ppm) en ambas aguas son muy parecidos en la *Gráfica 3.7*, esto es que la cantidad de Sílice no cambia durante el proceso de Clarificación al no remover sólidos disueltos. Entonces, se deduce que al suministrar agua de pozo, sólo concentración de Sílice se incrementaría, ya que el Pozo 1 y 2 contienen mayores cantidades de esta impureza para uso industrial.

3.3.2. Alternativa No. 2.

Esta estrategia es alimentar *agua de pozo al sistema de Desmineralización*, una vez que se halla interrumpido el suministro de agua superficial hacia el tanque de almacenamiento, por CNA que afecte al los sistemas en el Complejo Cangrejera.

En cuestiones de ahorro de consumo de agua clarificada estando en la contingencia mencionada, sólo se tomarían en cuenta las cantidades de consumos promedios de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios* en base a la **Tabla A3** en sección de **Anexos**, lo cual la suma arroja un resultado de 4,890 M³/Día de agua clarificada.

Ahora para calcular el tiempo total disponible en suministrar 6,261 M³ (**Tabla A2** en sección de **Anexos**) de agua clarificada almacenada, después de haber transcurrido las “**16 hrs**” estimadas para agua cruda o superficial disponible hacia el sistema de *Clarificación* (ver primer página de este capítulo), únicamente tomando en cuenta los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*, se estima de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} X_{\text{tcl}(1)} &= 6,261 \text{ M}^3 \\ 24 \text{ hrs} &= 4,890 \text{ M}^3 \\ X_{\text{tcl}(1)} &= [(24 \text{ hrs}) (6,261 \text{ M}^3)] / 4,890 \text{ M}^3 \\ X_{\text{tcl}(1)} &= \mathbf{30.72 \text{ hrs}} \end{aligned}$$

Para estimar el tiempo total que se tiene en caso de interrupción en suministro de agua superficial, sólo se suman los tiempos calculados anteriormente:

$$X_T = X_{\text{ts}} + X_{\text{tcl}(1)}$$

Donde:

X_{ts} = Tiempo disponible para suministrar agua superficial al sistema de *Clarificación*.

$X_{\text{tcl}(1)}$ = Tiempo disponible para suministrar agua clarificada únicamente a los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*.

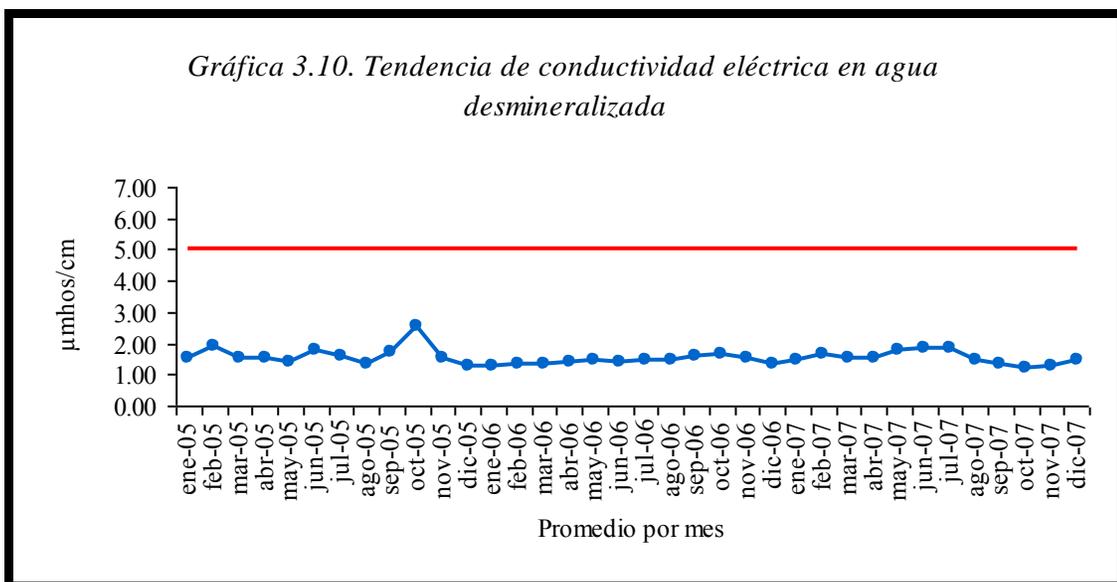
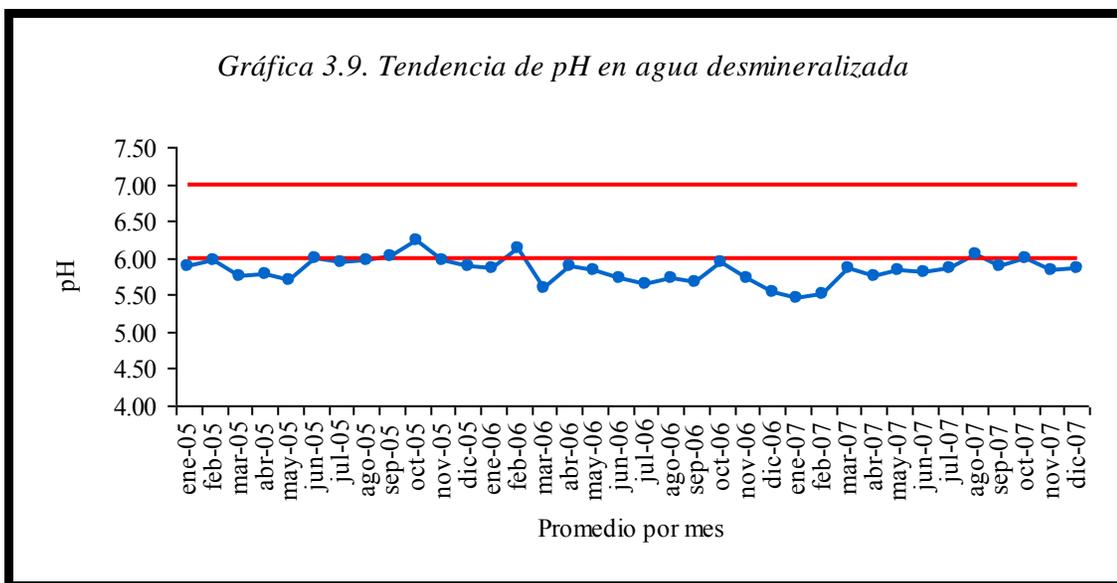
Sustituyendo:

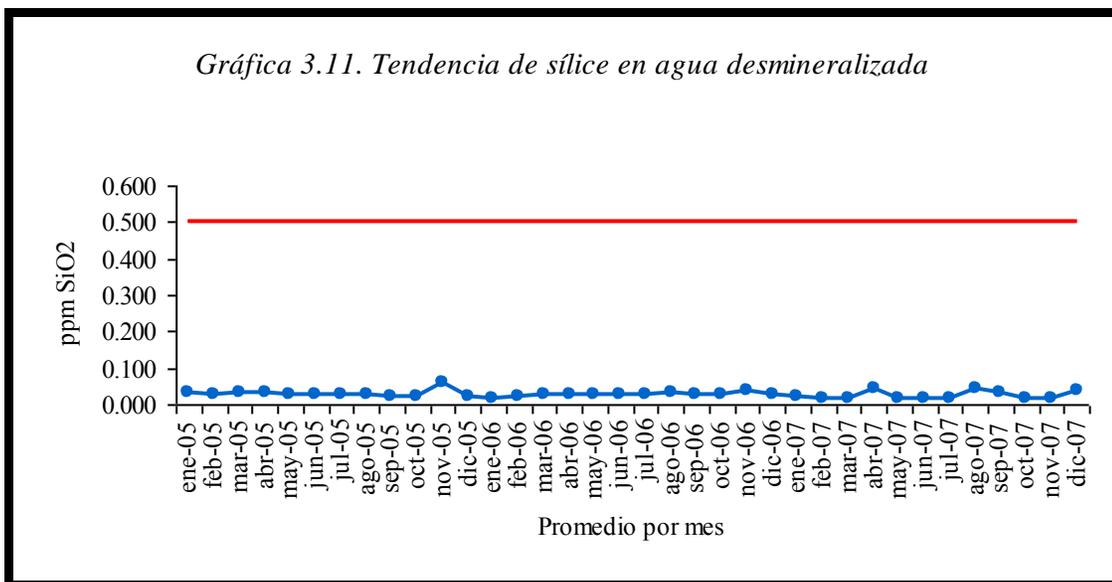
$$\begin{aligned} X_T &= 16 \text{ hrs} + 30 \text{ hrs} \\ X_T &= \mathbf{46 \text{ hrs}} \end{aligned}$$

Por lo que se estima que, se tienen “**46 hrs**” disponibles para mantener la planta de Servicios Auxiliares en operación normal, por interrupción en suministro de agua superficial. Únicamente suministrando agua clarificada a los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios* aplicando esta **Alternativa No. 2**. De lo contrario, cercano a este tiempo se tendrá que realizar paro no programado afectando a las áreas de producción en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

Como ya se mencionó esta alternativa ahorraría algunas horas para seguir operando en condiciones normales, suministrando agua de pozo hacia el sistema de *Desmineralización*. Pero en términos de tratamientos de aguas, la concentración de impurezas disueltas en aguas subterráneas, es mucho mayor que en aguas superficiales, afectando el agua de salida del sistema de Desmineralización por alta carga de sólidos disueltos.

A continuación se ilustran algunas gráficas en base a la **Tabla A8** en sección de **Anexos**, donde se muestran las tendencias de los parámetros a controlar en agua desmineralizada (ver **Tabla A4** en sección de **Anexos**) suministrando agua clarificada hacia el sistema de intercambio iónico.



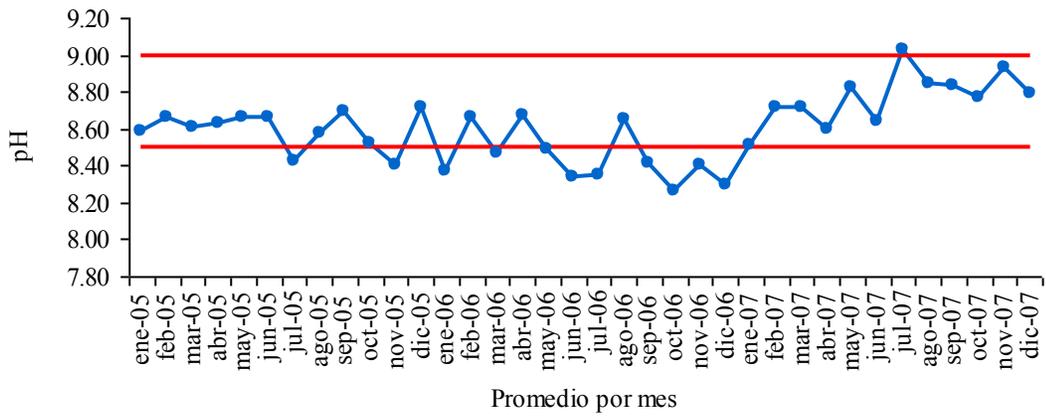


En las gráficas anteriores se tienen promedios de *pH*, *conductividad eléctrica* y *sílice* de 5.83, 1.54 μ mhos/cm y 0.027 ppm respectivamente. De las cuales se observa una tendencia estable para al agua de salida en el sistema de Desmineralización, suministrando agua clarificada para realizar sus intercambios iónicos ya mencionados en el capítulo anterior.

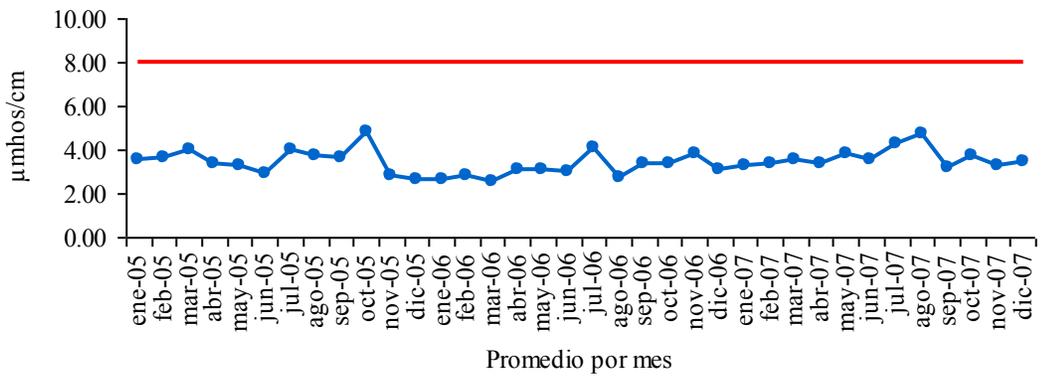
Ahora si se suministrara agua de pozo con niveles altos en sólidos disueltos (ver **Tabla A9** en sección de **Anexos**), entonces la calidad de agua de salida en el sistema de *Desmineralización*, podría salirse de especificaciones e incrementar la saturación de las camas catiónicas y aniónicas, aumentando el consumo de regenerante Ácido Sulfúrico y Sosa Cáustica para cada cama respectivamente.

Por otro lado el agua desmineralizada almacenada, se suministra a un Deareador (**Diagrama 2.2**. Capítulo II), donde por igual se monitorean parámetros a controlar, con objetivo de alimentar esa agua desmineralizada ya deareada para remover el oxígeno disuelto, hacia el sistema de generación de vapor por calderas y procesos donde se encuentran las calderetas (ver **Tabla A4** en sección de **Anexos**). Todo este descontrol en parámetros establecidos causaría concentración de sólidos disueltos afectando en incrustaciones por concentración excesiva de estas impurezas. En la siguiente página se ilustran algunos parámetros de agua deareada suministrando agua desmineralizada (gráficas en base a la **Tabla A10** en sección de **Anexos**), se observa una tendencia estable y dentro de rango durante los años del 2005 al 2007. Para corroborar la importancia de agua desmineralizada ya deareada con bajos niveles de impurezas disueltas, se grafican las tendencias de conductividad y sílice en calderas y calderetas (ver **Gráficas A1-A18** en sección de **Anexos**).

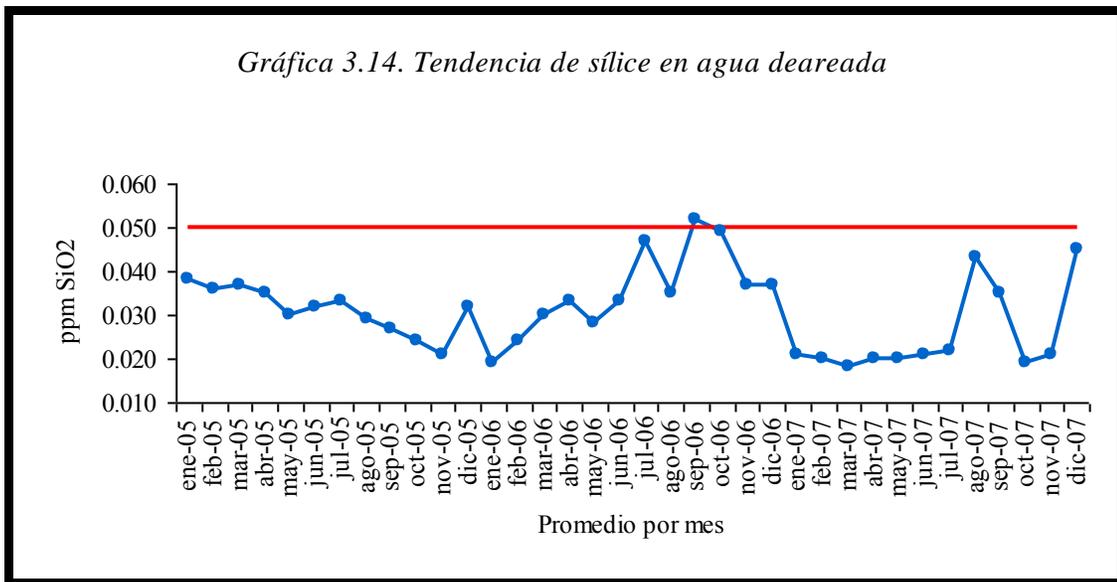
Gráfica 3.12. Tendencia de pH en agua deareada



Gráfica 3.13. Tendencia de conductividad eléctrica en agua deareada



Gráfica 3.14. Tendencia de sílice en agua deareada



En la *Gráfica 3.14* se muestra un buen control de niveles de Sílice en agua deareada, esto quiere decir que durante este periodo se tuvo buena remoción de sólidos disueltos en el sistema de Desmineralización en planta (**Diagrama 2.2** del **Capítulo II**) para alimentar al Deareador y este suministrar agua deareada a *Calderas y Calderetas*, minimizando los niveles de Sílice (**Tabla A4** en sección de **Anexos**) para generar vapor y mantener confiable estos equipo evitando incrustaciones y purgados excesivos que desconcentren sus tratamientos químicos respectivamente.

3.3.3. Alternativa No. 3.

Esta estrategia es alimentar *agua de pozo al sistema de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*, una vez que se halla interrumpido el suministro de agua superficial hacia el tanque de almacenamiento, por CNA que afecte al los sistemas en el Complejo Cangrejera.

En cuestiones de ahorro de consumo de agua clarificada estando en la contingencia mencionada, sólo se tomarían en cuenta la cantidad del consumo promedio del *Sistema de Desmineralización* en base a la **Tabla A3** en sección de **Anexos**, lo cual es un valor de 1,393 M³/Día de agua clarificada.

Ahora, para calcular el tiempo total disponible en suministrar 6,261 M³ (**Tabla A2** en sección de **Anexos**) de agua clarificada almacenada, después de haber transcurrido las “**16 hrs**” estimadas para agua superficial disponible hacia el sistema de *Clarificación* (ver primer página de este capítulo), únicamente tomando en cuenta el sistema de *Desmineralización*, se estima de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}X_{\text{tcl}(2)} &= 6,261 \text{ M}^3 \\24 \text{ hrs} &= 1,393 \text{ M}^3 \\X_{\text{tcl}(2)} &= [(24 \text{ hrs}) (6,261 \text{ M}^3)] / 1,393 \text{ M}^3 \\X_{\text{tcl}(2)} &= \mathbf{107.87 \text{ hrs}}\end{aligned}$$

Para estimar el tiempo total que se tiene en caso de de interrupción en suministro de agua superficial, sólo se suman los tiempos calculados anteriormente:

$$X_T = X_{\text{ts}} + X_{\text{tcl}(2)}$$

Donde:

X_{ts} = Tiempo disponible para suministrar agua superficial al sistema de *Clarificación*.

$X_{\text{tcl}(2)}$ = Tiempo disponible para suministrar agua clarificada únicamente al Sistema de *Desmineralización*.

Sustituyendo:

$$\begin{aligned}X_T &= 16 \text{ hrs} + 107 \text{ hrs} \\X_T &= \mathbf{123 \text{ hrs}}\end{aligned}$$

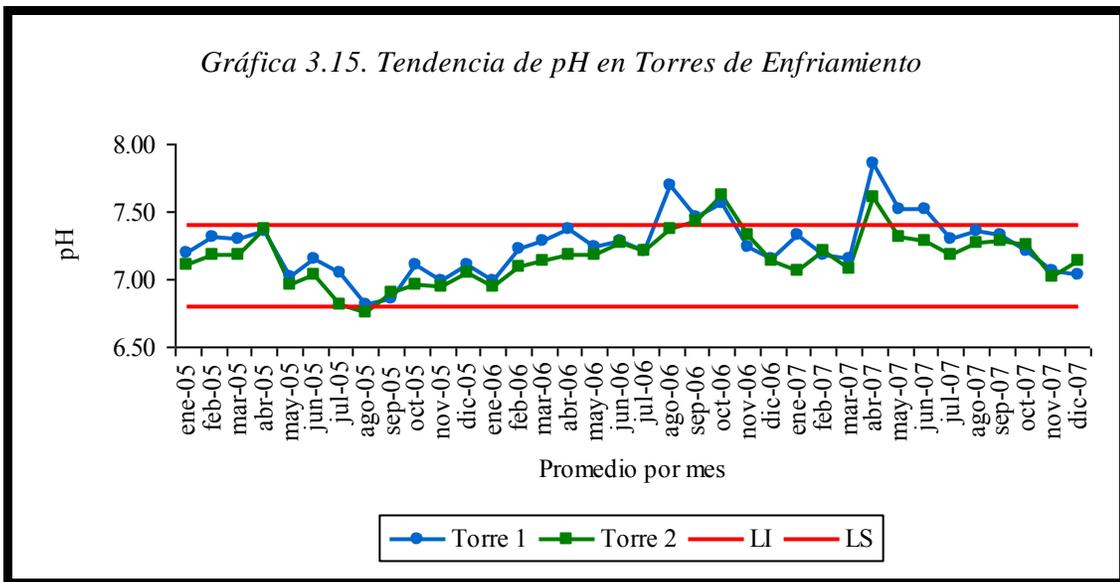
Por lo que se estima que, se tienen “**123 hrs**” disponibles para mantener la planta generadora de Servicios Auxiliares en operación normal, por interrupción en suministro de agua superficial. Únicamente suministrando agua clarificada al sistema de *Desmineralización* aplicando esta **Alternativa No. 3**. De lo contrario, cercano a este tiempo se tendrá que realizar paro no programado afectando a las áreas de producción en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

Como ya se mencionó esta alternativa ahorraría algunas horas para seguir operando en condiciones normales, suministrando agua de pozo hacia los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*. Pero en términos de tratamientos de aguas, la concentración de impurezas disueltas en agua subterráneas, es mucho mayor que en agua cruda o superficial.

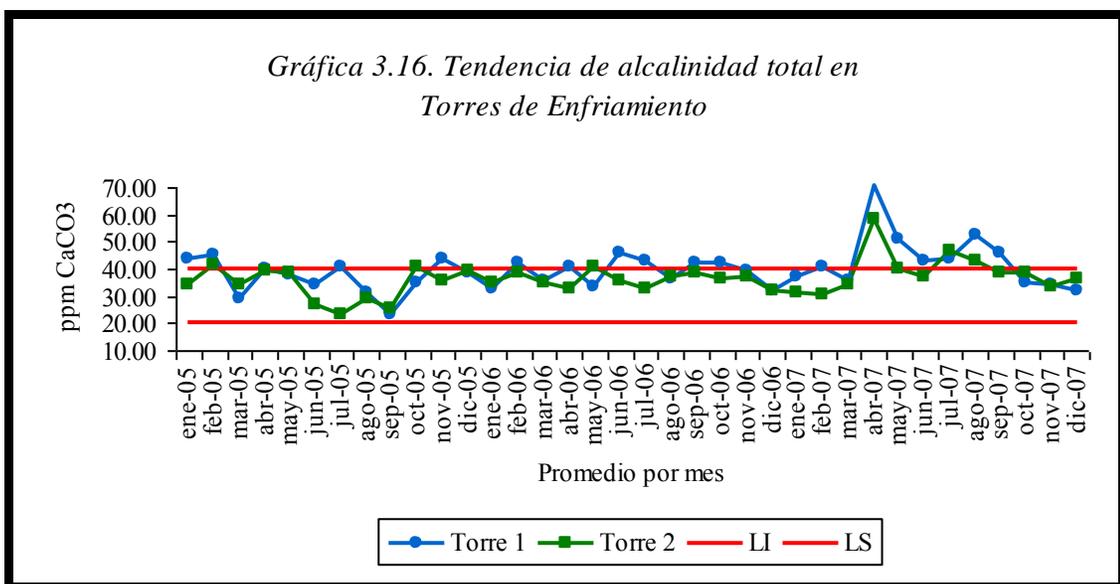
Para el caso de suministrar agua de pozo al sistema de *Agua de Servicios*, no se tiene problema, ya que esta agua no cuenta con un tratamiento químico que se vea afectado, y se usaría para los diferentes trabajos por empresas externas, como limpieza, obras civiles y mantener la presión en las regaderas de seguridad como se explicó con anterioridad en el **Capítulo II**.

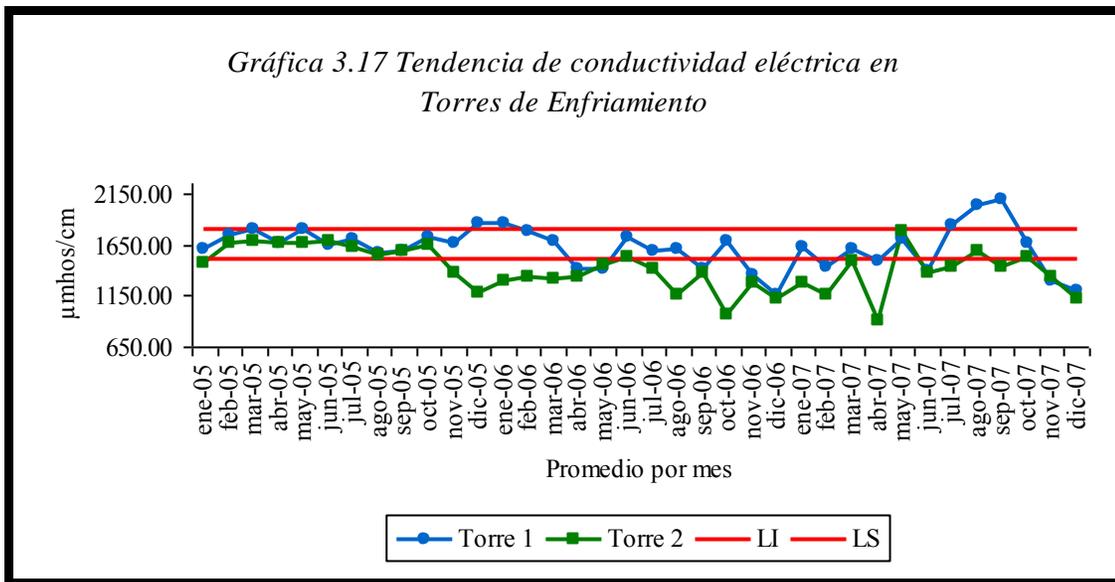
Ahora bien, para el caso del sistema de *Torres de Enfriamiento* suministrando agua de pozo como repuesto, se tendrían que monitorear estrictamente los parámetros a controlar (**Tabla A5** sección de **Anexos**) durante la contingencia, con mayor atención en sólidos disueltos controlando su concentración manipulando el flujo de purgas continuas en ambas torres de enfriamiento (**Diagrama 2.3** en **Capítulo II**) y de ser necesario realizar purgas de fondo para remover impurezas disueltas que afecten a este sistema en los procesos lado enfriamiento. En este sistema el tratamiento químico para minimizar la corrosión es basado en pH neutro con inhibidor catiónico, aniónico y dispersante de sales, por lo que es importante controlar residuales de zinc, fosfatos y molibdatos respectivamente para mantener las velocidades de corrosión en rango durante la contingencia si se suministrara agua subterránea como repuesto. Por el lado del control microbiológico es importante monitorear el residual del biocida Hipoclorito de Sodio que es el cloro libre residual, de una manera estricta y solicitar recomendaciones del proveedor de servicio técnico en tratamientos de agua, que para este caso si se tiene el apoyo durante la mayor parte de los días hábiles.

A continuación se ilustran algunas gráficas en base a las **Tablas A17** y **A18** en sección de **Anexos**, donde se muestran las tendencias de los parámetros a controlar en agua de enfriamiento (ver **Tabla A5** en sección de **Anexos**) suministrando agua clarificada. Cabe mencionar que no se incluyen gráficas de parámetros del sistema de *Agua de Servicios* debido a que equivalen a las tendencias en agua clarificada, ya que este sistema no contiene ningún tratamiento que altere sus parámetros en los diferentes puntos la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

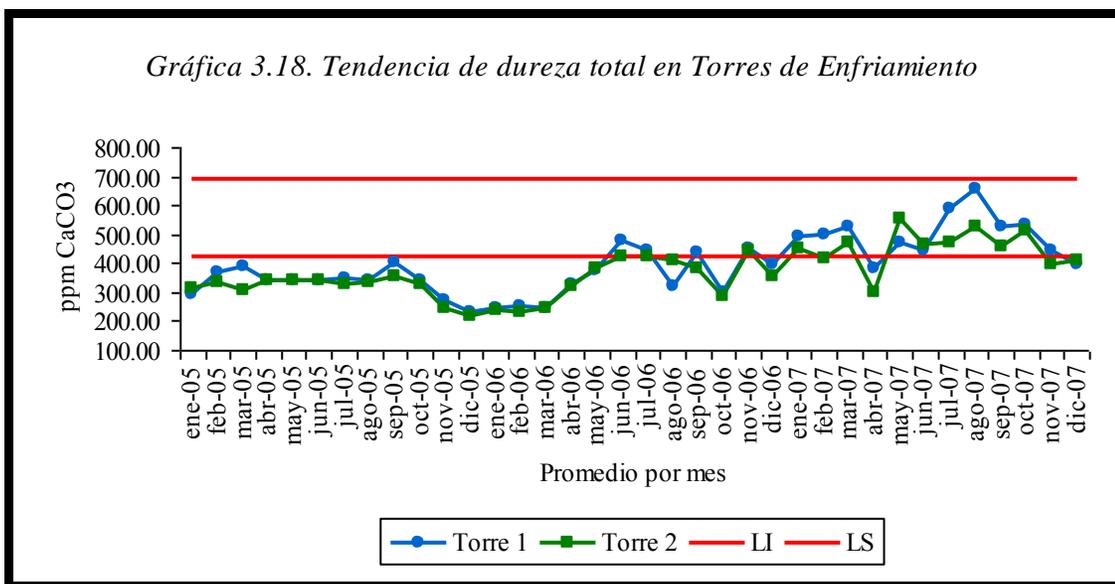


En la *Gráfica 3.15*, se observa una tendencia estable de pH en ambas torres de enfriamiento, este control se realiza mediante instrumentación de un equipo en línea que esta monitoreando el pH de agua de suministro, donde se establece un valor de control estable, para este caso el valor es de 7.2 con una dosificación de ácido sulfúrico; es decir, que cuando el pH se encuentre >7.2 , el instrumento energizará una bomba que suministra el ácido sulfúrico hasta mantener <7.2 , entonces se detendrá la dosificación desenergizando la bomba, y de esta manera también se controla la Alcalinidad como se ilustra en la *Gráfica 3.17*. Con este control se mantiene cercano a un pH neutro, dejando que la pasivación se realice (**Capítulo I**) por donde recircula el agua de enfriamiento, mediante los residuales de inhibidores de corrosión de zinc y fosfatos (**Tabla A5** en sección de **Anexos**).

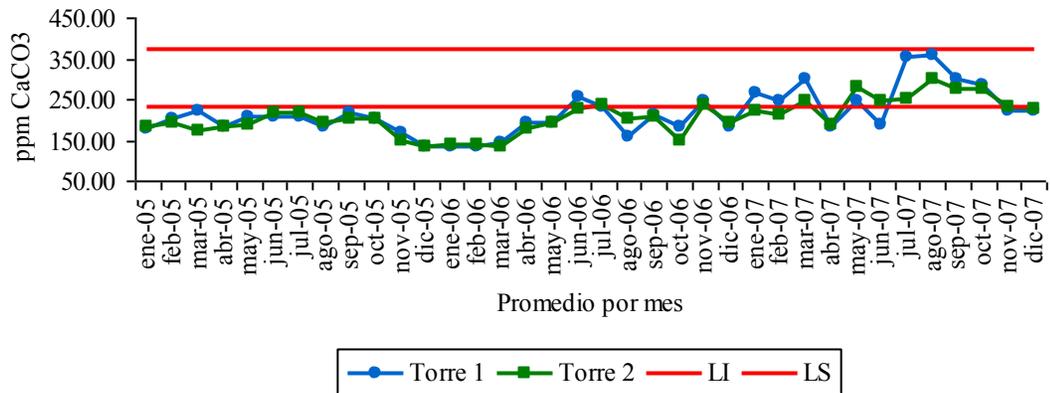




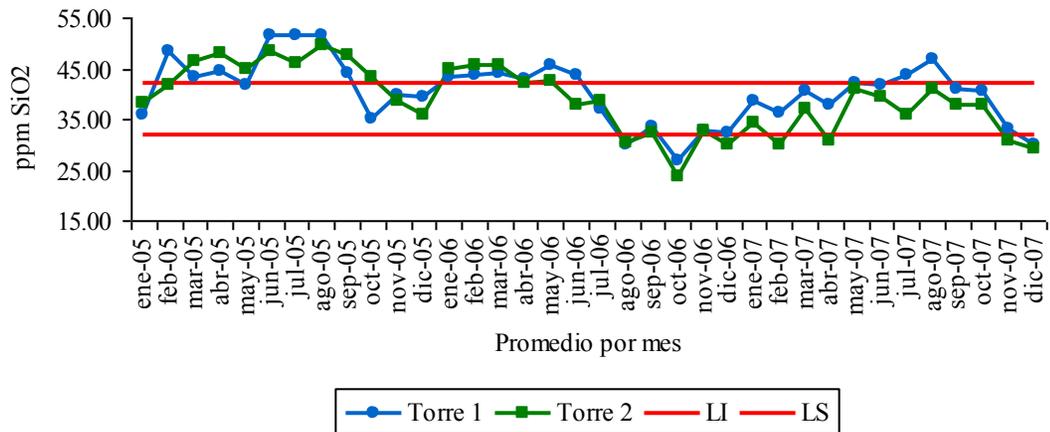
Otro de los parámetros importantes para monitorear la concentración de sólidos disueltos es la medición de conductividad eléctrica constantemente, mientras mayor sea la cantidad de sólidos disueltos, la CE se incrementará en función estos. Por lo que si se suministrará agua de pozos, la CE tendería a incrementarse y comportarse diferente que con agua superficial clarificada. Debido a esto, en la siguientes páginas se ilustran algunas tendencias de variables en agua de enfriamiento como Dureza de Total, Dureza Calcio y Sílice; suministrando agua clarificada durante el periodo establecido, que se verían afectadas al suministrar agua de pozo, saliendo de especificaciones (**Tabla A5** en sección de **Anexos**); también se tendría que vigilar estrictamente y de ser necesario incrementar flujos de purgas continuas o realizar purgas de fondo para remover impurezas disueltas.



Gráfica 3.19. Tendencia de dureza de calcio en Torres de Enfriamiento



Gráfica 3.20. Tendencia de sílice en Torres de Enfriamiento



CONCLUSIONES.

Derivado del análisis de las tres alternativas posibles de aplicar, en caso de suspender el suministro de agua superficial hacia el Tanque de Almacenamiento en planta generadora de Servicios Auxiliares, por problemas en Comisión Nacional de agua (CNA); se creó la siguiente tabla comparativa:

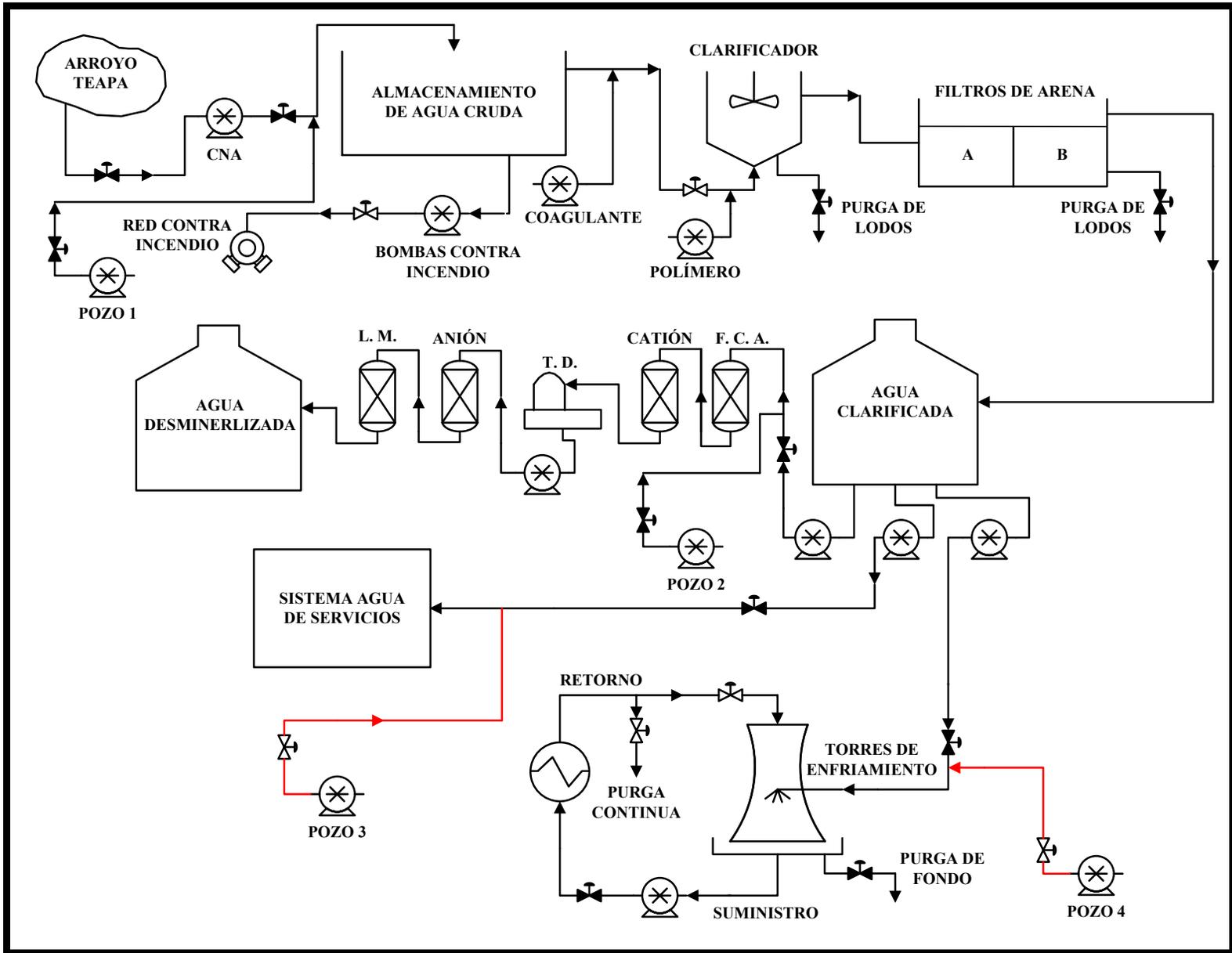
	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Alternativa No. 1 <i>Suministro de agua de pozo hacia el tanque de almacenamiento de agua superficial</i>	1. Nivel del tanque de almacenamiento sin problemas. 2. Operación de planta en condiciones normales de operación. 3. Sistemas de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios sin problemas sólo durante la contingencia. 4. Agua disponible para la red de bombas contra incendio.	1. Altos niveles de sólidos suspendidos en agua de pozos. 2. Altas de impurezas de tanque de almacenamiento de agua clarificada. 3. Exceso de impurezas disueltas para remover en el sistema de Desmineralización. 4. Altos costos en base a consumos de químicos y agua de pozo al mezclarse con agua superficial.
Alternativa No.2 <i>Suministro de agua de pozo hacia el sistema de Desmineralización</i>	1. Se tendrían 46 hrs disponibles para mantener condiciones normales de operación, únicamente suministrando agua clarifica a los sistemas de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios. 2. Agua disponible para la red de bombas contra incendio.	1. Exceso de impurezas disueltas para remover en el sistema de Desmineralización. 2. Baja eficiencia en las camas catiónicas y aniónicas. 3. Mayor consumo de Ácido Sulfúrico y Sosa Cáustica por regenerar camas catiónicas y aniónicas saturadas.
Alternativa No.3 <i>Suministro de agua de pozo hacia los sistemas de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios</i>	1. Se tendrían 123 hrs disponibles para mantener condiciones normales de operación, únicamente suministrando agua clarifica al sistema de Desmineralización. 2. Agua disponible para la red de bombas contra incendio. 3. Costos beneficio diario al utilizar agua de pozo en base a la Tabla A20 en sección de Anexos	1. Alta concentración de sólidos disueltos en el sistema de Torres de Enfriamiento si NO se remueven correctamente en purgados.

FINALMENTE SE CONCLUYE QUE:

La **Alternativa No.3** es la mejor estrategia a aplicar para esta contingencia, debido a que se tendrían **“123 horss ó 5 días”** disponibles para mantener condiciones normales de operación, suministrando agua de pozos 3 y 4 a los sistemas de *Torres de Enfriamiento* y *Agua de Servicios* como se ilustra en diagrama de la siguiente página.

Respecto a costos, en base a la **Tabla A20** en sección de **Anexos** se obtiene que:

Suministrando agua superficial; consumo de coagulante, consumo de floculante y consumo de hipoclorito se tiene un \$26,059.06 por día en operación; por lo que suministrando agua de pozo se tendría que cancelar el consumo de químicos en el sistema de clarificación pasadas las 16 horas estimadas para agua superficial disponible en tanque de almacenamiento con un costo de \$51,340.33 por día en operación; con una diferencia de **\$25,281.27** que se tomará como un **“costo beneficio”** en esta Alternativa sin afectar a los sistemas de *Desmineralización* y la *Casa de Bombas de Contra Incendio* en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera, cumpliendo a la vez con los **Objetivos Específicos y General** de esta tesis.



PROPUESTA.

Con respecto a las conclusiones anteriores se propone utilizar la **Alternativa No.3** en caso de falla en el suministro de agua superficial a la planta Celanese Mexicana Complejo Cangrejera. Esta consta de suministrar agua de pozo hacia los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*, aplicando la siguiente estrategia:

1.- En condiciones normales de operación, al notificarse que no se podrá suministrar agua superficial por Comisión Nacional de Agua (CNA) al complejo hasta nuevo aviso, entonces se emitirá un comunicado por medio de e-mail, telefónico a personal de jefaturas en departamentos del Complejo Cangrejera, donde se solicite suspender todos los trabajos posibles para el ahorro de agua; por ejemplo de limpieza en área, para trabajos de construcción por compañías externas, soldadura con mata chispas, regado de jardines, limpieza de equipos, etc.

2.- Durante la contingencia se tienen **16 hrs** disponibles para suministrar agua superficial almacenada al sistema de clarificación como operación normal; durante estas horas se deberá estar en constante comunicación con *CNA* para dar seguimiento al problema.

3.- Si la contingencia se mantiene sin cambios; seis horas antes de cumplirse el tiempo disponible para operar en condiciones normales con agua superficial, entonces se deben habilitar las bombas con pozos disponibles, realizando un purgado durante 10 minutos antes de alinear su descarga.

4.- Tomar muestras de agua de pozo, para verificar la cantidad de impurezas disueltas. (Ver **Tabla A9** en sección de **Anexos**).

5.- Una vez transcurrido las 16 hrs sin suministro de agua superficial al tanque de almacenamiento, entonces se deberá bloquear el suministro de agua superficial al sistema de *Clarificación*, por lo que también se suspenderá el bombeo de químicos coagulante Sulfato de Aluminio, la ayuda al coagulante que es el Polímero y el biocida Hipoclorito de Sodio

6.- Empezar a suministrar agua de pozo únicamente a los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*. Para el sistema de *Desmineralización* sin cambios, se seguirá enviando agua clarificada disponible en tanque de almacenamiento.

7.- Para el caso del sistema de *Torres de Enfriamiento*, verificar constantemente pH en señales de panel control analizadores en línea y conductividad eléctrica para mantenerlos dentro de rango (ver **Tabla A5** en sección de **Anexos**). Tomar muestras de agua de enfriamiento cada 8 horas para comparar con señales en panel de control.

8.- Ajustar el flujo de purga continua en ambas torres de enfriamiento para mantener dentro de rango la conductividad, ya que este parámetro decrece o aumenta en función de los sólidos disueltos. De ser necesario realizar purgas de fondo para mantener sobre rango la CE.

9.- Vigila, ajustar y mantener residuales de dispersante de sales (*ppm de molibdatos*) e inhibidores de corrosión (*ppm de fosfato y zinc*) para mantenerlos en rango (ver **Tabla A5** en sección de **Anexos**), realizado ajustes a las dosificaciones de estos químicos.

10.- Para el caso del sistema de *Agua de Servicios*, se requiere mantener este cabezal presionado para los sistemas de regaderas de seguridad instaladas en todas las áreas.

11.- Cabe mencionar que al agotarse las 16 hrs disponibles en el tanque de agua cruda, sólo quedan **107 hrs** para seguir suministrando agua clarificada almacenada hacia el sistema de *Desmineralización*, por lo que es importante estar en constante comunicación con personal de CNA para dar seguimiento al problema del bombeo de agua superficial y dar hincapié que el complejo tendrá que realizar paro general al cumplirse el tiempo y agua disponibles para los sistemas, afectando a las plantas que tienen que cumplir con una producción planeada.

12.- Se estima que durante esas 107 hrs o 4 días, la contingencia deberá ser solucionada por CNA; por lo que una vez restablecido el suministro de agua superficial hacia el complejo, primero se tendrá que recuperar un nivel de 95 % (ver **Tabla A2** en sección de **Anexos**) en tanque de almacenamiento de esta agua y seguir operando con pozos.

13.- Suministrar agua superficial al sistema de clarificación, iniciando la dosificación de coagulante, floculante y biocida. Recuperar el nivel adecuado del tanque de almacenamiento de agua clarificada (ver **Tabla A2** en sección de **Anexos**).

15.- Teniendo los niveles adecuados en ambos tanques de almacenamiento, entonces parar el bombeo de agua de pozos y alinear agua clarificada a los sistemas de *Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios*.

16.- Enviar un comunicado a todo el complejo que la contingencia termino y se requiere purgar las regaderas de seguridad en todo el complejo, dando a entender el que ya se pueden realizar actividades para el uso del *Sistema de Agua de Servicios*.

17.- Para efectos de confiabilidad en el tratamiento del sistema de *Torres de Enfriamiento*, se debe tomar muestras de agua de retorno en ambas torres y proceder a analizar sus parámetros de control. De acuerdo a resultados sobre concentración de impurezas, realizar purgas de fondo 10 minutos en cada celda por jornada de 8 horas hasta tener en control los parámetros (ver **Tabla A5** en sección de **Anexos**) y dar seguimiento a la conductividad en operación normal de este sistema.

18.- Dar mantenimiento general preventivo a bombas que suministran agua de pozos en el complejo, para incrementar su confiabilidad al poner en operación estos equipos y se mantengan disponibles.

19.-Establecer una rutina donde se arranquen las bombas para suministrar agua pozos, mínimo una vez por mes. Tomando muestras analizando los niveles de impurezas para tener datos históricos y aprovechar el muestreo como prueba funcionales de bombeo exitoso.

ANEXOS

ANEXOS TABLAS.

Tabla A1. Escala para medir la intensidad del pH en una solución.

H⁺	OH⁻	pH	pOH
10 ⁻¹	10 ⁻¹³	1	13
10 ⁻²	10 ⁻¹²	2	12
10 ⁻³	10 ⁻¹¹	3	11
10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰	4	10
10 ⁻⁵	10 ⁻⁹	5	9
10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	6	8
10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	7	7
10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	8	6
10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	9	5
10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴	10	4
10 ⁻¹¹	10 ⁻³	11	3
10 ⁻¹²	10 ⁻²	12	2
10 ⁻¹³	10 ⁻¹	13	1

Tabla A2. Especificaciones en tanque de almacenamiento.

Tanque de almacenamiento	Capacidad	Disponibilidad en operación	
		%	M³
Agua cruda	20000	95	19,000
Agua clarificada	6591	95	6,261
Agua desmineralizada	1,284	95	1,220
Retorno de condensados	500	60	300

Tabla A3. Promedios mensuales en consumos diarios del 2005 al 2007.

	Agua cruda a	Clarificada a	Clarificada a	Clarificada a
	Clarificación	Desmineralización	Enfriamiento	Agua Servicios
Mes	M ³ /día	M ³ /día	M ³ /día	M ³ /día
Ene 05	5,881	1,416	3,548	780
Feb 05	4,854	1,390	3,596	704
Mar 05	3,469	1,169	3,400	543
Abr 05	3,820	1,132	3,643	532
May 05	3,734	1,301	3,871	528
Jun 05	4,114	1,476	3,994	524
Jul 05	3,848	1,275	4,176	536
Ago 05	4,342	1,291	4,211	554
Sep 05	2,910	1,393	4,472	513
Oct 05	3,935	1,529	4,284	536
Nov 05	3,312	1,302	4,435	509
Dic 05	3,569	1,331	4,225	512
Ene 06	3,229	1,539	4,323	545
Feb 06	3,035	1,558	4,194	673
Mar 06	3,303	1,643	4,371	1,598
Abr 06	3,412	1,379	4,727	2,077
May 06	2,332	1,524	4,544	612
Jun 06	2,629	1,435	4,206	607
Jul 06	5,272	1,327	4,320	604
Ago 06	5,305	1,445	4,829	600
Sep 06	4,692	1,498	5,758	601
Oct 06	4,922	1,360	6,025	665
Nov 06	4,211	1,298	6,166	614
Dic 06	3,629	1,595	4,022	682
Ene 07	4,948	1,312	3,768	698
Feb 07	5,914	1,319	3,885	701
Mar 07	6,237	1,279	4,017	728
Abr 07	4,650	1,359	3,204	742
May 07	4,668	1,360	3,315	833
Jun 07	4,366	1,302	4,033	790
Jul 07	3,351	1,392	3,899	731
Ago 07	4,044	1,534	3,802	735
Sep 07	2,873	1,419	3,799	751
Oct 07	4,310	1,523	4,127	818
Nov 07	3,775	1,444	4,075	817
Dic 07	2,145	1,289	3,079	688
Promedio	4,029	1,393	4,176	713

Tabla A4. Rangos en análisis del sistema de generación de vapor.

Análisis	Unidad	Agua	Agua	Retorno de	Tanque de	Purga en	Purga en
		Desmineralizada	Deareada	condensado	condensados	Calderas	Calderetas
pH		6.0 - 7.0	8.5 - 9.0	8.8 - 9.0	8.8 - 9.0	9.8 - 10.2	9.00 - 10.7
Conductividad	µmhos/cm	< 5	< 8	< 8	< 8	< 250	50 - 200
Alcal. OH	ppm CaCO ₃					< 5	
Ortofosfatos	ppm PO ₄					15 - 30	
Sílice	ppm SiO ₂	< 0.5	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 5	<10
Dureza Total	ppm CaCO ₃		< 0.5				
Mekor	ppb		600 - 900	N/D			
Fierro	ppm FeO		< 0.05	< 0.05	< 0.05		<2.0
Molibdatos	ppm MoO ₄					1.0 - 3.0	

Tabla A5. Rangos en análisis del sistema de enfriamiento.

Análisis	Unidad	Agua	Agua	Torres de
		Cruda	Clarificada	Enfriamiento
pH		N/D	N/D	6.8 - 7.4
Conductividad	µmhos/cm	N/D	N/D	1500 - 1800
Alcalinidad Total	ppm CaCO ₃	N/D	N/D	20 - 40
Dureza Total	ppm CaCO ₃	N/D	N/D	420 - 690
Dureza de Calcio	ppm CaCO ₃	N/D	N/D	280 - 370
Sílice	ppm SiO ₂	N/D	N/D	32 - 42
Cloruros	ppm Cl	N/D	N/D	250 - 400
Cloro libre residual	ppm Cl ₂	N/D	≤ 0.5	0.50 - 0.80
Ortofosfatos	ppm PO ₄			8.0 - 12.0
Zinc Total	ppm Zn			2.0 - 4.0
Molibdatos	ppm MoO ₄			0.2 - 0.8
Ciclos de concentración				6.0 - 8.0
Turbidez	NTU	N/D	< 2	< 20
Fierro Soluble	ppm FeO			< 1.0

**Tabla A6. Promedios mensuales en análisis de agua cruda del
2005 al 2007.**

			Alcalinidad	Dureza	Dureza			
	pH	CE	Total	Total	Calcio	Sílice	Cloruros	Turbidez
		μmhos/cm	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm SiO ₂	ppm Cl	NTU
ene-05	6.90	145.83	39.00	38.00	24.00	7.00	25.00	8.71
feb-05	7.01	146.62	26.00	53.00	24.00	5.30	23.00	6.20
mar-05	7.14	147.75	41.00	31.00	24.00	4.90	23.00	5.30
abr-05	7.04	158.62	55.00	38.00	26.00	5.10	39.00	4.71
may-05	7.09	171.09	32.00	50.00	32.00	5.40	19.00	7.89
jun-05	7.29	162.63	32.00	60.00	32.00	11.60	18.00	4.18
jul-05	7.36	166.46	41.00	51.00	29.00	9.60	31.00	3.61
ago-05	6.97	141.63	17.00	62.00	40.00	12.00	22.00	6.56
sep-05	6.91	175.33	25.00	58.00	29.00	10.90	25.00	10.03
oct-05	6.75	172.10	17.00	60.00	38.00	9.20	30.00	11.57
nov-05	6.74	142.46	17.00	40.00	26.00	11.30	26.00	12.05
dic-05	6.85	118.41	28.00	49.00	28.00	10.50	32.00	8.83
ene-06	6.81	138.73	25.00	50.00	32.00	10.60	42.00	5.62
feb-06	6.92	144.26	30.00	62.00	38.00	10.00	25.00	4.78
mar-06	7.00	142.28	33.00	50.00	26.00	10.40	30.00	3.88
abr-06	6.86	142.36	21.00	49.00	28.00	9.10	29.00	3.79
may-06	6.91	148.25	25.00	50.00	32.00	10.50	41.00	3.24
jun-06	6.91	160.76	28.00	70.00	40.00	7.80	32.00	5.20
jul-06	6.91	155.30	25.00	49.00	23.00	10.20	26.00	4.63
ago-06	6.99	146.07	30.00	50.00	30.00	9.60	28.00	7.18
sep-06	6.79	142.64	30.00	44.00	22.00	8.90	26.00	8.26
oct-06	6.72	127.36	25.00	37.00	22.00	10.00	26.00	9.12
nov-06	6.87	132.75	22.00	50.00	38.00	12.00	30.00	7.33
dic-06	6.78	129.70	22.00	37.00	22.00	10.10	32.00	8.56
ene-07	6.72	127.56	25.00	37.00	26.00	12.60	34.00	11.30
feb-07	6.92	131.30	28.00	37.00	29.00	14.20	26.00	8.71
mar-07	6.99	128.69	30.00	40.00	29.00	15.10	27.00	8.23
abr-07	6.97	133.12	30.00	39.00	23.00	12.00	29.00	3.64
may-07	6.99	138.14	30.00	44.00	33.00	14.00	22.00	3.69
jun-07	6.90	133.40	25.00	50.00	28.00	10.90	26.00	5.36
jul-07	6.88	152.73	28.00	40.00	28.00	15.10	32.00	4.96
ago-07	7.01	153.14	33.00	49.00	30.00	11.40	24.00	10.45
sep-07	6.95	135.14	30.00	50.00	32.00	11.90	32.00	11.02
oct-07	6.75	127.03	28.00	47.00	32.00	12.90	30.00	10.92
nov-07	6.73	116.43	25.00	74.00	41.00	13.00	24.00	10.25
dic-07	6.68	108.28	21.00	49.00	28.00	12.30	30.00	10.18
Promedio	6.92	142.90	28.00	48.00	29.55	10.50	28.22	7.53

**Tabla A7. Promedios mensuales en análisis de agua clarificada del
2005 al 2007.**

			Alcalinidad	Dureza	Dureza			
	pH	CE	Total	Total	Calcio	Sílice	Cloruros	Turbidez
		µmhos/cm	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm SiO ₂	ppm Cl	NTU
ene-05	6.62	163.63	32.00	36.00	22.00	6.00	32.00	0.97
feb-05	6.66	165.43	20.00	50.00	24.00	4.10	45.00	0.54
mar-05	6.88	168.93	39.00	32.00	25.00	4.90	42.00	0.57
abr-05	6.87	175.25	44.00	38.00	25.00	4.60	50.00	0.60
may-05	6.88	200.52	23.00	47.00	30.00	4.80	36.00	0.61
jun-05	7.17	188.13	20.00	57.00	28.00	9.60	49.00	0.67
jul-05	7.08	188.53	39.00	51.00	25.00	9.00	51.00	0.45
ago-05	6.86	167.81	14.00	59.00	40.00	11.50	52.00	0.59
sep-05	6.69	198.33	23.00	55.00	29.00	10.20	49.00	0.97
oct-05	6.46	186.75	15.00	63.00	28.00	9.90	39.00	0.75
nov-05	6.56	165.16	14.00	41.00	25.00	11.00	52.00	0.63
dic-05	6.58	134.37	26.00	45.00	27.00	10.50	48.00	0.71
ene-06	6.63	156.06	22.00	47.00	27.00	10.50	60.00	0.59
feb-06	6.78	164.19	23.00	59.00	26.00	10.10	58.00	0.68
mar-06	6.83	158.85	28.00	45.00	25.00	10.40	59.00	0.53
abr-06	6.77	150.50	18.00	41.00	25.00	9.10	52.00	0.61
may-06	6.75	162.96	23.00	45.00	30.00	10.50	50.00	0.49
jun-06	6.77	177.93	25.00	65.00	35.00	7.50	48.00	0.65
jul-06	6.83	175.10	22.00	48.00	23.00	10.20	60.00	0.82
ago-06	6.90	164.82	28.00	45.00	30.00	9.50	58.00	0.95
sep-06	6.72	162.96	21.00	43.00	22.00	8.80	61.00	0.81
oct-06	6.56	144.16	22.00	35.00	22.00	10.00	60.00	0.96
nov-06	6.53	150.79	18.00	50.00	35.00	12.30	56.00	0.76
dic-06	6.52	147.18	15.00	35.00	23.00	10.20	55.00	1.02
ene-07	6.57	144.13	22.00	36.00	26.00	12.60	48.00	1.44
feb-07	6.67	146.52	25.00	37.00	31.00	14.00	61.00	0.75
mar-07	6.73	141.95	25.00	41.00	29.00	15.10	59.00	0.76
abr-07	6.83	150.70	22.00	41.00	25.00	12.60	56.00	0.46
may-07	6.80	155.25	25.00	43.00	30.00	14.10	60.00	0.53
jun-07	6.78	152.00	25.00	51.00	28.00	10.90	60.00	0.60
jul-07	6.76	169.30	25.00	42.00	29.00	15.20	56.00	0.66
ago-07	6.87	170.74	28.00	49.00	30.00	11.30	48.00	0.88
sep-07	6.73	151.60	25.00	50.00	32.00	11.60	52.00	1.14
oct-07	6.59	148.03	25.00	47.00	34.00	12.60	55.00	0.99
nov-07	6.55	131.16	22.00	59.00	40.00	13.00	58.00	0.77
dic-07	6.47	122.32	18.00	48.00	28.00	11.90	52.00	0.72
Promedio	6.73	161.17	23.92	46.56	28.14	10.28	52.42	0.74

Tabla A8. Promedios mensuales en análisis de agua desmineralizada del 2005 al 2007.

	pH	CE	Sílice
		µmhos/cm	ppm SiO ₂
ene-05	5.88	1.53	0.034
feb-05	5.97	1.88	0.030
mar-05	5.75	1.52	0.031
abr-05	5.77	1.55	0.033
may-05	5.70	1.42	0.025
jun-05	5.98	1.81	0.027
jul-05	5.94	1.61	0.028
ago-05	5.96	1.32	0.025
sep-05	6.03	1.70	0.023
oct-05	6.23	2.53	0.024
nov-05	5.96	1.53	0.061
dic-05	5.88	1.30	0.022
ene-06	5.85	1.29	0.016
feb-06	6.12	1.36	0.021
mar-06	5.60	1.33	0.025
abr-06	5.88	1.41	0.029
may-06	5.83	1.47	0.027
jun-06	5.73	1.39	0.027
jul-06	5.65	1.45	0.029
ago-06	5.72	1.45	0.031
sep-06	5.67	1.57	0.029
oct-06	5.93	1.68	0.029
nov-06	5.73	1.55	0.036
dic-06	5.53	1.32	0.029
ene-07	5.46	1.49	0.020
feb-07	5.51	1.65	0.017
mar-07	5.87	1.51	0.016
abr-07	5.74	1.52	0.045
may-07	5.84	1.79	0.015
jun-07	5.81	1.87	0.017
jul-07	5.87	1.85	0.014
ago-07	6.04	1.47	0.045
sep-07	5.88	1.35	0.032
oct-07	6.00	1.24	0.017
nov-07	5.83	1.29	0.019
dic-07	5.85	1.46	0.038
Promedio	5.83	1.54	0.027

Tabla A9. Análisis en agua de pozos por contingencia del 2006.

	Pozo 1	Pozo 2
pH	7.85	6.57
CE ($\mu\text{mhos/cm}$)	330.00	220.00
Dureza de Calcio (ppm CaCO_3)	24.60	51.20
Dureza Total (ppm CaCO_3)	162.00	152.00
Alcalinidad (ppm CaCO_3)	142.00	88.40
Sílice (ppm SiO_2)	156.00	60.00
Sulfatos (ppm SO_4)	9.00	2.00
Fierro (ppm FeO)	0.16	7.60

Tabla A10. Promedios mensuales en análisis de agua deareada del 2005 al 2007.

	pH	CE	Sílice	Secuestrante
		µmhos/cm	ppm SiO ₂	de O ₂
				ppb Mekor
ene-05	8.59	3.58	0.038	635.52
feb-05	8.66	3.68	0.036	684.20
mar-05	8.61	4.01	0.037	494.14
abr-05	8.63	3.32	0.035	430.00
may-05	8.66	3.30	0.030	491.38
jun-05	8.66	2.95	0.032	451.77
jul-05	8.43	4.02	0.033	493.94
ago-05	8.57	3.69	0.029	444.80
sep-05	8.69	3.63	0.027	494.58
oct-05	8.52	4.85	0.024	626.06
nov-05	8.40	2.86	0.021	520.84
dic-05	8.71	2.61	0.032	473.16
ene-06	8.37	2.64	0.019	596.52
feb-06	8.66	2.84	0.024	656.77
mar-06	8.47	2.57	0.030	632.04
abr-06	8.67	3.10	0.033	585.52
may-06	8.49	3.05	0.028	577.71
jun-06	8.34	2.99	0.033	636.69
jul-06	8.35	4.09	0.047	718.92
ago-06	8.65	2.72	0.035	531.66
sep-06	8.41	3.38	0.052	750.76
oct-06	8.26	3.37	0.049	743.92
nov-06	8.40	3.81	0.037	755.06
dic-06	8.30	3.11	0.037	833.44
ene-07	8.51	3.30	0.021	741.09
feb-07	8.72	3.40	0.020	650.00
mar-07	8.71	3.52	0.018	797.92
abr-07	8.60	3.36	0.020	756.13
may-07	8.82	3.80	0.020	766.88
jun-07	8.64	3.51	0.021	665.04
jul-07	9.03	4.24	0.022	804.47
ago-07	8.85	4.70	0.043	723.39
sep-07	8.83	3.15	0.035	749.92
oct-07	8.77	3.76	0.019	668.75
nov-07	8.93	3.25	0.021	644.52
dic-07	8.79	3.45	0.045	907.73
Promedio	8.60	3.43	0.031	642.65

**Tabla A11. Promedios mensuales en análisis de purga en calderas del
2005 al 2007.**

				Residual
	pH	CE	Sílice	Fosfatos
Caldera 1		μmhos/cm	ppm SiO ₂	ppm PO ₄
ene-05	10.06	83.99	0.19	23.25
feb-05	9.96	77.04	0.29	26.03
mar-05	9.95	86.45	0.31	25.41
abr-05	9.91	81.39	0.52	25.24
may-05	9.93	80.16	0.37	24.81
jun-05	10.02	84.55	0.95	26.59
jul-05	10.08	75.89	0.58	24.83
ago-05	9.97	63.03	0.74	23.67
sep-05	9.84	75.13	0.66	24.87
oct-05	9.91	71.40	0.72	28.19
nov-05	9.97	82.00	0.85	27.45
dic-05	10.06	76.71	0.47	24.95
ene-06	10.00	76.03	0.39	27.93
feb-06	10.21	112.38	0.46	21.43
mar-06	10.07	78.82	0.47	27.39
abr-06	10.12	68.60	0.81	23.05
may-06	10.08	92.77	0.64	26.62
jun-06	9.90	105.08	0.44	25.12
jul-06	10.13	119.81	0.27	27.47
ago-06	10.03	117.13	0.42	27.91
sep-06	9.93	105.30	0.35	26.61
oct-06	10.04	107.98	0.44	25.35
nov-06	10.01	102.16	0.27	27.00
dic-06	10.00	92.08	0.62	25.46
ene-07	9.97	71.16	0.26	27.40
feb-07	9.99	84.93	0.31	32.04
mar-07	10.00	84.78	0.17	29.23
abr-07	9.93	98.28	0.90	28.98
may-07	9.79	90.82	0.36	24.72
jun-07	9.99	81.58	0.16	27.64
jul-07	9.98	83.12	0.17	28.04
ago-07	9.93	69.22	0.19	23.26
sep-07	9.96	71.07	0.26	23.25
oct-07	10.01	85.57	0.14	27.66
nov-07	10.04	85.92	0.16	27.30
dic-07	9.97	81.45	0.24	27.05
Promedio	9.99	86.22	0.43	26.20

				Residual
	pH	CE	Sílice	Fosfatos
Caldera 2		μmhos/cm	ppm SiO ₂	ppm PO ₄
ene-05	10.05	80.96	0.25	23.05
feb-05	9.94	73.34	0.38	24.13
mar-05	9.95	77.24	0.47	25.65
abr-05	9.82	92.48	0.54	25.07
may-05	9.95	89.08	0.69	25.55
jun-05	9.98	69.98	0.41	22.76
jul-05	10.05	82.83	0.58	25.63
ago-05	9.98	74.00	0.71	22.50
sep-05	9.91	75.45	0.94	26.29
oct-05	9.92	83.52	1.25	29.92
nov-05	9.92	89.22	0.68	27.20
dic-05	10.08	89.73	0.49	22.81
ene-06	9.99	78.52	0.29	24.62
feb-06	10.24	131.25	0.56	23.89
mar-06	10.11	86.12	0.47	25.87
abr-06	10.13	75.30	0.81	23.68
may-06	10.10	97.48	0.64	25.90
jun-06	9.93	107.57	0.42	25.68
jul-06	10.13	119.37	0.39	25.32
ago-06	10.00	109.39	0.34	25.17
sep-06	9.91	108.95	0.27	24.79
oct-06	10.04	117.58	0.42	24.49
nov-06	9.97	114.05	0.35	27.62
dic-06	9.97	93.80	0.53	26.42
ene-07	9.96	75.88	0.28	25.62
feb-07	9.85	78.46	0.34	26.67
mar-07	9.97	87.24	0.25	26.13
abr-07	9.88	88.27	0.79	24.51
may-07	9.94	93.98	0.40	24.18
jun-07	9.92	85.97	0.24	24.92
jul-07	9.90	78.44	0.22	24.60
ago-07	9.95	80.21	0.23	25.80
sep-07	9.97	76.92	0.25	25.11
oct-07	9.95	82.79	0.22	24.11
nov-07	10.00	82.69	0.22	24.49
dic-07	9.93	81.47	0.41	25.43
Promedio	9.98	89.15	0.46	25.16

**Tabla A12. Promedios mensuales en análisis de purga en calderas del
2005 al 2007.**

	pH	CE	Sílice	Residual Fosfatos
Caldera 3		µmhos/cm	ppm SiO ₂	ppm PO ₄
ene-05	10.15	100.86	0.32	28.93
feb-05	9.98	85.41	0.23	25.11
mar-05	9.99	110.90	0.62	28.31
abr-05	9.93	92.77	0.50	28.06
may-05	9.97	97.46	0.65	28.47
jun-05	10.05	97.05	0.56	27.11
jul-05	10.03	84.00	0.55	24.45
ago-05	10.02	66.30	0.83	24.36
sep-05	9.86	76.00	0.83	27.19
oct-05	9.88	93.37	0.85	28.40
nov-05	9.97	99.08	0.68	29.09
dic-05	10.14	93.45	0.42	24.21
ene-06	10.05	82.93	0.30	26.52
feb-06	10.15	95.32	0.39	25.37
mar-06	10.13	85.60	0.41	25.15
abr-06	10.17	79.18	0.83	26.12
may-06	10.12	94.85	0.54	25.88
jun-06	9.99	113.61	0.46	28.52
jul-06	10.16	127.67	0.32	27.54
ago-06	10.03	120.29	0.38	26.51
sep-06	10.01	116.60	0.39	27.36
oct-06	10.06	112.73	0.36	24.75
nov-06	9.99	118.98	0.38	28.71
dic-06	10.00	91.54	0.74	28.53
ene-07	9.96	81.61	0.22	23.70
feb-07	9.82	77.63	0.27	24.83
mar-07	10.03	83.12	0.16	26.02
abr-07	9.87	82.62	0.56	24.31
may-07	9.83	96.93	0.20	24.39
jun-07	9.99	87.06	0.15	28.49
jul-07	10.02	82.32	0.21	27.96
ago-07	10.01	82.45	0.26	27.69
sep-07	10.02	82.35	0.29	26.68
oct-07	9.91	93.25	0.13	27.32
nov-07	10.05	77.41	0.11	24.82
dic-07	10.01	78.15	0.40	25.89
Promedio	10.01	92.80	0.43	26.58

	pH	CE	Sílice	Residual Fosfatos
Caldera 4		µmhos/cm	ppm SiO ₂	ppm PO ₄
ene-05	10.12	113.55	0.31	29.07
feb-05	9.96	84.56	0.35	27.00
mar-05	9.97	108.22	0.71	30.21
abr-05	9.94	96.05	0.51	28.73
may-05	10.01	102.72	0.59	29.90
jun-05	10.02	94.26	0.39	24.95
jul-05	10.03	82.91	0.62	25.23
ago-05	9.91	82.15	0.78	26.15
sep-05	9.89	78.76	0.92	28.76
oct-05	9.86	87.20	1.46	30.83
nov-05	9.91	99.41	0.68	28.86
dic-05	10.14	95.20	0.59	29.50
ene-06	9.93	89.07	0.39	28.37
feb-06	10.26	133.60	0.56	28.42
mar-06	10.08	88.60	0.46	27.86
abr-06	10.07	81.84	0.89	25.89
may-06	10.03	105.18	0.73	27.44
jun-06	9.90	127.67	0.48	27.17
jul-06	10.20	147.47	0.27	24.68
ago-06	10.01	109.75	0.26	24.99
sep-06	10.01	112.84	0.36	27.37
oct-06	10.09	133.27	0.33	30.73
nov-06	9.91	126.57	0.44	33.27
dic-06	9.96	107.68	0.59	30.12
ene-07	9.97	93.67	0.18	30.21
feb-07	9.91	93.47	0.33	31.88
mar-07	9.93	95.99	0.21	30.79
abr-07	10.08	115.70	0.83	26.45
may-07	10.13	117.87	0.31	24.89
jun-07	10.03	91.20	0.15	23.74
jul-07	10.08	89.07	0.14	25.59
ago-07	10.09	102.21	0.24	28.43
sep-07	10.07	96.78	0.28	28.02
oct-07	10.30	143.34	0.17	24.47
nov-07	10.07	101.20	0.10	25.83
dic-07	10.00	101.95	0.45	28.95
Promedio	10.02	103.64	0.47	27.91

Tabla A13. Promedios mensuales en análisis de purga en calderas del 2005 al 2007.

				Residual
	pH	CE	Sílice	Fosfatos
Caldera 5		µmhos/cm	ppm SiO ₂	ppm PO ₄
ene-05	10.10	89.93	0.23	25.57
feb-05	9.94	80.28	0.38	25.02
mar-05	9.96	86.58	0.45	26.45
abr-05	9.89	78.65	0.35	25.33
may-05	9.97	91.26	0.36	27.46
jun-05	9.95	86.40	0.42	22.48
jul-05	10.06	80.57	0.38	27.07
ago-05	9.89	78.58	1.00	23.49
sep-05	9.90	74.26	0.84	25.64
oct-05	9.89	77.83	0.85	27.51
nov-05	9.98	88.87	0.65	26.04
dic-05	10.12	82.87	0.58	27.10
ene-06	9.92	79.36	0.45	24.59
feb-06	10.04	89.58	0.42	25.20
mar-06	10.09	75.61	0.39	23.92
abr-06	10.10	77.85	0.88	23.63
may-06	10.08	83.59	0.56	23.33
jun-06	10.07	102.23	0.66	24.84
jul-06	10.16	124.01	0.38	23.58
ago-06	10.01	111.80	0.50	22.53
sep-06	9.95	106.94	0.51	23.49
oct-06	10.08	116.63	0.44	28.12
nov-06	9.90	98.71	0.30	23.93
dic-06	10.06	124.74	1.21	34.28
ene-07	10.00	85.46	0.23	28.06
feb-07	9.96	82.43	0.35	26.69
mar-07	9.97	89.16	0.25	26.19
abr-07	10.03	95.90	0.62	23.38
may-07	10.06	106.16	0.26	24.21
jun-07	10.03	90.69	0.18	26.52
jul-07	10.13	92.35	0.18	27.21
ago-07	10.08	92.81	0.21	23.77
sep-07	10.05	85.83	0.29	23.99
oct-07	10.24	123.82	0.15	23.28
nov-07	10.05	87.37	0.11	24.56
dic-07	9.98	91.10	0.28	26.08
Promedio	10.02	91.95	0.45	25.40

Tabla A14. Promedios mensuales en análisis de purga en calderetas del 2005 al 2007.

Caldereta 1	pH	CE μmhos/cm	Caldereta 2	pH	CE μmhos/cm	Caldereta 3	pH	CE μmhos/cm
ene-05	9.26	51.21	ene-05	9.50	102.83	ene-05	9.79	87.66
feb-05	8.49	75.33	feb-05	9.68	473.33	feb-05	8.94	144.00
mar-05	8.65	60.66	mar-05	9.83	513.33	mar-05	9.28	130.66
abr-05	8.89	26.90	abr-05	10.70	128.90	abr-05	10.04	213.00
may-05	8.98	33.77	may-05	10.58	586.30	may-05	9.87	248.71
jun-05	8.51	29.48	jun-05	10.40	1089.40	jun-05	10.28	351.80
jul-05	9.16	39.03	jul-05	10.61	1807.30	jul-05	10.43	394.36
ago-05	8.62	38.98	ago-05	9.77	228.50	ago-05	9.73	595.00
sep-05	9.01	46.60	sep-05	9.89	639.00	sep-05	9.21	78.50
oct-05	8.46	136.00	oct-05	10.10	585.82	oct-05	9.45	138.41
nov-05	8.74	30.58	nov-05	10.06	732.56	nov-05	9.12	130.00
dic-05	8.58	21.15	dic-05	10.15	2115.50	dic-05	9.40	125.00
ene-06	8.56	32.96	ene-06	10.92	2034.66	ene-06	9.29	49.66
feb-06	8.73	47.60	feb-06	11.14	2573.20	feb-06	10.38	194.50
mar-06	7.44	18.58	mar-06	9.83	669.00	mar-06	9.26	190.66
abr-06	8.63	16.07	abr-06	10.07	927.25	abr-06	9.49	131.75
may-06	8.44	21.46	may-06	9.99	1261.50	may-06	9.36	155.50
jun-06	8.68	45.40	jun-06	9.68	1323.00	jun-06	8.77	318.00
jul-06	8.89	36.66	jul-06	10.80	2674.40	jul-06	9.70	256.20
ago-06	9.00	41.42	ago-06	10.90	2544.40	ago-06	9.56	118.40
sep-06	8.89	46.42	sep-06	10.36	1447.57	sep-06	9.24	66.00
oct-06	9.08	57.86	oct-06	10.90	1707.16	oct-06	9.13	29.83
nov-06	8.49	21.75	nov-06	11.07	2314.50	nov-06	8.86	37.87
dic-06	8.28	25.61	dic-06	10.70	1801.00	dic-06	8.78	72.43
ene-07	8.33	24.32	ene-07	9.99	1188.88	ene-07	8.23	23.31
feb-07	7.98	31.33	feb-07	9.85	1596.71	feb-07	8.20	18.45
mar-07	8.86	29.21	mar-07	10.31	1703.28	mar-07	9.01	106.00
abr-07	8.16	22.00	abr-07	10.62	985.66	abr-07	9.55	162.93
may-07	9.20	33.04	may-07	10.04	500.40	may-07	9.14	35.56
jun-07	9.02	37.77	jun-07	10.31	560.00	jun-07	9.05	28.12
jul-07	8.87	37.28	jul-07	10.51	1155.77	jul-07	9.10	36.51
ago-07	9.10	84.95	ago-07	10.35	711.42	ago-07	8.66	14.92
sep-07	8.66	66.14	sep-07	9.58	219.00	sep-07	8.46	13.56
oct-07	8.83	34.51	oct-07	10.37	648.66	oct-07	9.09	24.52
nov-07	9.47	72.25	nov-07	10.84	1234.75	nov-07	8.80	10.50
dic-07	9.55	86.57	dic-07	10.41	346.20	dic-07	9.69	82.72
Promedio	8.74	43.36	Promedio	10.30	1142.53	Promedio	9.29	133.75

Tabla A15. Promedios mensuales en análisis de purga en calderetas del 2005 al 2007.

	pH	CE
Caldereta 4		$\mu\text{mhos/cm}$
ene-05	10.05	185.33
feb-05	8.69	210.66
mar-05	9.60	252.66
abr-05	9.74	108.00
may-05	9.64	283.15
jun-05	8.78	300.30
jul-05	8.51	770.66
ago-05	8.56	419.00
sep-05	9.21	723.00
oct-05	9.29	624.45
nov-05	9.12	745.62
dic-05	9.27	1208.50
ene-06	9.65	1123.66
feb-06	10.17	137.00
mar-06	8.83	124.33
abr-06	8.44	135.00
may-06	8.45	177.50
jun-06	8.51	234.00
jul-06	9.32	173.80
ago-06	9.45	136.60
sep-06	8.97	170.85
oct-06	9.67	171.33
nov-06	9.27	179.62
dic-06	8.74	130.32
ene-07	7.99	62.00
feb-07	7.74	155.28
mar-07	8.10	223.66
abr-07	9.35	54.33
may-07	9.08	69.64
jun-07	9.23	97.50
jul-07	9.43	166.55
ago-07	9.42	106.20
sep-07	8.30	8.70
oct-07	8.80	34.76
nov-07	9.22	38.87
dic-07	9.51	88.80
Promedio	9.06	273.10

	pH	CE
Caldereta 5		$\mu\text{mhos/cm}$
ene-05	9.64	130.24
feb-05	8.95	89.33
mar-05	9.27	70.00
abr-05	9.10	41.94
may-05	9.15	50.01
jun-05	9.53	114.61
jul-05	9.63	171.24
ago-05	9.36	76.61
sep-05	8.70	99.97
oct-05	8.50	58.05
nov-05	8.94	32.57
dic-05	9.50	64.43
ene-06	9.55	121.62
feb-06	9.07	105.92
mar-06	8.69	151.10
abr-06	8.83	99.85
may-06	8.48	238.91
jun-06	7.66	39.56
jul-06	8.45	18.00
ago-06	8.22	32.06
sep-06	8.98	79.05
oct-06	9.56	103.91
nov-06	9.32	108.19
dic-06	8.45	103.34
ene-07	8.75	75.84
feb-07	7.92	73.76
mar-07	9.25	34.44
abr-07	9.19	63.46
may-07	9.56	171.02
jun-07	9.47	120.21
jul-07	9.12	50.00
ago-07	8.98	85.76
sep-07	8.78	102.16
oct-07	9.12	63.23
nov-07	9.59	125.44
dic-07	9.10	123.60
Promedio	9.01	91.37

	pH	CE
Caldereta 6		$\mu\text{mhos/cm}$
ene-05	9.34	125.06
feb-05	9.59	300.00
mar-05	9.66	290.00
abr-05	8.95	33.18
may-05	9.16	60.69
jun-05	9.78	145.12
jul-05	9.68	201.71
ago-05	9.47	104.22
sep-05	9.46	165.18
oct-05	8.64	310.13
nov-05	8.96	303.20
dic-05	10.01	145.36
ene-06	9.97	189.14
feb-06	9.71	219.02
mar-06	8.65	92.45
abr-06	8.80	198.95
may-06	8.06	291.96
jun-06	7.99	132.00
jul-06	8.26	112.56
ago-06	8.46	84.80
sep-06	8.94	114.35
oct-06	9.78	146.10
nov-06	9.35	125.61
dic-06	8.24	269.48
ene-07	8.83	107.86
feb-07	7.96	96.00
mar-07	9.50	74.02
abr-07	9.62	134.00
may-07	9.67	158.46
jun-07	9.63	121.81
jul-07	9.41	118.54
ago-07	9.26	156.53
sep-07	8.63	149.00
oct-07	9.47	126.65
nov-07	9.85	170.00
dic-07	9.92	171.00
Promedio	9.19	159.56

Tabla A16. Promedios mensuales en análisis de purga en calderetas del 2005 al 2007.

	pH	CE		pH	CE
Caldereta 7		µmhos/cm	Caldereta 8		µmhos/cm
Jan-05	8.84	28.41	Jan-05	9.84	185.35
Feb-05	9.30	67.33	Feb-05	8.56	24.60
Mar-05	9.00	32.00	Mar-05	8.96	95.00
Apr-05	8.79	11.80	Apr-05	9.26	53.98
May-05	9.37	63.16	May-05	9.10	46.57
Jun-05	9.91	147.09	Jun-05	9.67	117.39
Jul-05	9.81	176.76	Jul-05	9.48	177.28
Aug-05	9.47	87.50	Aug-05	9.20	79.72
Sep-05	9.12	38.69	Sep-05	9.37	200.76
Oct-05	8.85	35.57	Oct-05	8.69	371.70
Nov-05	9.07	28.06	Nov-05	8.73	340.27
Dec-05	9.10	12.84	Dec-05	9.91	107.21
Jan-06	9.10	14.44	Jan-06	10.13	227.28
Feb-06	9.18	27.75	Feb-06	9.86	310.97
Mar-06	8.95	51.58	Mar-06	9.10	205.97
Apr-06	8.12	117.02	Apr-06	8.72	265.80
May-06	7.84	171.51	May-06	8.09	412.78
Jun-06	8.04	252.00	Jun-06	8.09	552.00
Jul-06	8.08	56.32	Jul-06	8.25	235.60
Aug-06	8.17	12.72	Aug-06	8.44	18.36
Sep-06	8.95	64.08	Sep-06	8.81	67.91
Oct-06	9.82	129.91	Oct-06	9.45	73.98
Nov-06	9.89	193.06	Nov-06	9.27	65.05
Dec-06	9.49	223.80	Dec-06	9.04	69.97
Jan-07	9.34	256.25	Jan-07	8.81	65.97
Feb-07	8.76	281.65	Feb-07	8.23	153.08
Mar-07	9.29	35.14	Mar-07	9.03	19.46
Apr-07	9.65	93.23	Apr-07	9.30	82.90
May-07	9.80	176.23	May-07	9.70	258.75
Jun-07	9.90	203.54	Jun-07	9.77	328.70
Jul-07	9.21	38.00	Jul-07	9.34	60.90
Aug-07	9.65	128.23	Aug-07	9.45	213.25
Sep-07	9.24	179.83	Sep-07	9.02	87.08
Oct-07	9.26	230.50	Oct-07	9.42	167.83
Nov-07	9.72	323.65	Nov-07	9.61	124.25
Dec-07	9.61	312.00	Dec-07	9.91	180.40
Promedio	9.16	119.49	Promedio	9.16	168.00

Tabla A17. Promedios mensuales en análisis de purga en Torre de Enfriamiento No.1 del 2005 al 2007.

			Alcalinidad	Dureza	Dureza			
	pH	CE	Total	Total	Calcio	Sílice	Cloruros	CC
		μmhos/cm	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm SiO ₂	ppm Cl	
ene-05	7.19	1602.56	43.66	291.58	178.00	35.96	254.33	7.45
feb-05	7.31	1733.50	45.30	366.30	202.30	48.23	309.80	10.01
mar-05	7.30	1807.66	28.66	391.00	221.00	43.33	340.00	9.03
abr-05	7.35	1668.00	40.00	339.00	182.00	44.60	250.00	9.29
may-05	7.02	1798.40	37.80	337.40	204.20	41.70	284.00	8.68
jun-05	7.15	1637.66	34.22	340.88	205.00	51.63	269.77	10.76
jul-05	7.04	1699.33	40.66	344.00	206.00	51.50	263.00	6.91
ago-05	6.81	1571.87	31.18	336.93	180.81	51.31	284.00	6.66
sep-05	6.86	1591.66	23.33	401.80	217.20	44.06	313.46	5.87
oct-05	7.11	1730.00	34.85	340.71	203.50	35.10	318.35	4.73
nov-05	6.98	1656.23	43.50	272.75	167.16	39.85	277.50	7.68
dic-05	7.10	1854.28	38.71	227.78	134.38	39.35	238.71	7.90
ene-06	6.99	1862.23	32.85	245.07	133.92	43.10	249.57	8.44
feb-06	7.22	1789.41	41.83	247.66	134.63	43.71	220.66	11.94
mar-06	7.28	1674.89	35.66	241.08	140.83	43.83	227.33	8.94
abr-06	7.37	1411.30	40.60	324.00	192.60	42.93	283.20	8.45
may-06	7.23	1408.07	33.06	372.13	189.46	45.40	258.66	8.93
jun-06	7.28	1726.38	45.76	476.30	253.23	43.50	280.15	6.37
jul-06	7.21	1587.29	43.00	445.41	228.05	37.02	259.52	10.08
ago-06	7.69	1598.45	36.58	318.91	157.58	29.95	184.52	8.00
sep-06	7.45	1404.08	42.15	433.30	213.07	33.43	247.92	9.12
oct-06	7.56	1678.98	42.46	296.30	181.79	26.82	185.76	7.43
nov-06	7.24	1358.16	39.58	449.16	247.00	32.65	254.91	6.36
dic-06	7.14	1151.36	31.90	396.45	183.72	32.33	192.81	6.51
ene-07	7.33	1629.42	37.00	494.26	262.53	38.64	244.46	7.14
feb-07	7.18	1421.42	40.78	501.35	247.42	36.22	236.14	8.92
mar-07	7.14	1610.13	35.66	526.66	299.40	40.58	293.26	9.11
abr-07	7.85	1483.00	70.77	381.11	182.11	37.65	181.33	9.48
may-07	7.52	1698.15	51.15	472.92	245.07	42.05	243.76	6.83
jun-07	7.52	1397.81	43.00	440.45	187.45	41.81	252.09	9.09
jul-07	7.29	1831.64	43.64	590.64	353.64	43.75	326.71	10.32
ago-07	7.35	2042.36	52.18	655.54	355.81	46.60	378.63	11.22
sep-07	7.33	2100.32	45.75	528.00	299.00	40.75	276.50	9.81
oct-07	7.20	1665.70	35.20	535.20	285.60	40.51	322.20	9.75
nov-07	7.06	1285.44	33.88	445.33	218.55	32.98	241.00	7.95
dic-07	7.03	1203.92	32.25	394.58	220.33	30.02	207.00	6.36
Promedio	7.24	1621.42	39.68	394.50	214.29	40.36	262.53	8.38

Tabla A18. Promedios mensuales en análisis de purga en Torre de Enfriamiento No.2 del 2005 al 2007.

			Alcalinidad	Dureza	Dureza			
	pH	CE	Total	Total	Calcio	Sílice	Cloruros	CC
		μmhos/cm	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm SiO ₂	ppm Cl	
ene-05	7.10	1472.81	34.09	314.09	182.45	37.96	257.36	7.30
feb-05	7.17	1668.44	41.20	331.60	193.20	41.78	298.40	9.46
mar-05	7.18	1676.00	34.50	306.33	169.83	46.36	267.00	9.67
abr-05	7.37	1669.00	39.00	341.00	184.00	48.00	247.00	10.00
may-05	6.96	1660.66	38.33	339.83	189.00	44.61	258.33	9.29
jun-05	7.03	1687.66	26.66	336.88	215.11	48.16	292.33	10.04
jul-05	6.81	1622.00	23.00	324.50	217.50	46.00	265.00	6.21
ago-05	6.75	1557.14	29.28	333.71	191.57	49.64	275.50	6.45
sep-05	6.89	1590.40	25.60	353.20	199.06	47.43	291.00	6.13
oct-05	6.96	1646.64	40.92	325.02	203.14	43.22	316.57	5.60
nov-05	6.94	1371.00	35.91	245.58	148.08	38.37	254.50	7.45
dic-05	7.05	1176.81	39.09	220.00	133.54	35.80	245.54	7.01
ene-06	6.94	1289.46	35.00	235.23	137.38	44.93	251.13	8.83
feb-06	7.09	1332.25	38.83	232.41	137.41	45.58	209.08	12.46
mar-06	7.13	1307.00	34.86	241.33	135.07	45.40	221.20	9.38
abr-06	7.18	1341.26	32.72	319.36	175.63	42.23	278.63	8.31
may-06	7.18	1443.62	40.43	378.18	192.75	42.52	259.93	8.30
jun-06	7.26	1535.53	35.53	424.46	227.07	37.82	247.69	5.57
jul-06	7.21	1418.57	32.57	419.85	235.28	38.36	244.21	10.64
ago-06	7.37	1164.77	37.10	412.10	203.33	30.38	193.33	9.30
sep-06	7.42	1362.25	38.83	379.33	205.50	32.12	231.91	8.93
oct-06	7.62	963.80	36.13	285.40	145.93	23.74	173.40	6.60
nov-06	7.32	1270.50	37.30	445.70	235.20	32.54	216.40	6.54
dic-06	7.13	1113.61	32.00	353.84	191.30	29.76	193.15	5.97
ene-07	7.06	1282.72	31.07	446.78	221.71	34.32	204.78	6.50
feb-07	7.21	1150.00	30.78	417.12	210.78	30.01	209.57	7.64
mar-07	7.07	1489.18	34.43	467.56	245.56	36.80	241.81	9.47
abr-07	7.61	905.00	58.64	297.21	184.35	30.65	155.35	7.70
may-07	7.31	1775.73	40.33	554.66	279.66	40.98	267.26	6.92
jun-07	7.28	1376.33	37.20	463.73	244.20	39.22	241.60	8.87
jul-07	7.18	1421.57	46.92	473.28	250.07	35.83	240.14	8.65
ago-07	7.27	1585.64	42.71	523.64	301.07	40.81	300.42	9.78
sep-07	7.28	1435.80	38.40	454.90	272.80	37.73	264.60	9.04
oct-07	7.25	1519.16	38.33	511.00	275.83	37.66	298.41	9.03
nov-07	7.02	1335.25	33.12	392.37	228.12	30.75	266.00	7.41
dic-07	7.13	1117.64	36.00	409.91	225.25	29.00	206.25	5.98
Promedio	7.16	1409.31	36.30	369.75	205.21	38.79	246.80	8.12

Tabla A18. Resultados de pruebas de jarras en Celanese Mexicana Complejo Cangrejera.

PLANTA <u>Celanese Mexicana</u> LOCALIZACIÓN <u>Complejo Cangrejera</u> Fecha: <u>25-ago-05</u>														
CONDICIONES DE LAS PRUEBAS			QUIMICOS Y DOSIFICACIONES EN ORDEN DE ADICION							RESULTADOS DE LA PRUEBA			REALIZÓ: Técnico de aguas	
PRUEBA No.	CONDICIONES DE AGITACIÓN	JARRA No	pH	QUIMICO No.1	ppm	QUIMICO No.2	ppm	QUIMICO No.3	ppm	TAMAÑO FLOC	VELOCIDAD SEDIMENTACIÓN	TURBIDEZ FINAL	COMENTARIOS	
1	Agitación Rápida 100 RPM 5 min Agitación Lenta RPM 2 min Sedimentación 10 min	1	6.88		-		-					11.10	Jarra sin tratamiento (blanco)	
		2	6.74	Sulfato de Aluminio	25					Mediano	Rápida	3.74	Buena turbidez, con pH sin afectarse	
		3	6.62	Sulfato de Aluminio	30					Mediano	Rápida	5.30	No mejora turbidez al incrementar sulfato, y el pH baja mucho.	
		4	6.80	Sulfato de Aluminio	20					Pequeño	Lenta	5.74	Malos resultados de turbidez este nivel de sulfato no ayuda.	
		5	6.52	Sulfato de Aluminio	35					Mediano	Rápida	3.70	Buena turbidez, pero pH es muy bajo.	
		6												
2	Agitación Rápida 100 RPM 5 min Agitación Lenta RPM 2 min Sedimentación 10 min	1		Sulfato de Aluminio	25	Amerfloc 485	1.2			Mediano	Rápida	3.53	Tratamiento actual, se mantendrá debido a que sigue lloviendo	
		2		Sulfato de Aluminio	25	Amerfloc 485	1.0			Pequeño	Lenta	4.89	Tratamiento que no mejora la turbidez	
		3		Sulfato de Aluminio	20	Amerfloc 485	1.0			Pequeño	Lenta	2.90	Igual que jarra anterior.	
		4		Sulfato de Aluminio	20	Amerfloc 485	1.2			Mediano	Rápida	2.71	Resultados buenos, sin embargo como medida preventiva no se cambiará el tratamiento.	
		5												
		6												

Tabla A19. Promedios mensuales en consumos diarios de químicos en área de Clarificación de Servicios Auxiliares del 2005 al 2007.

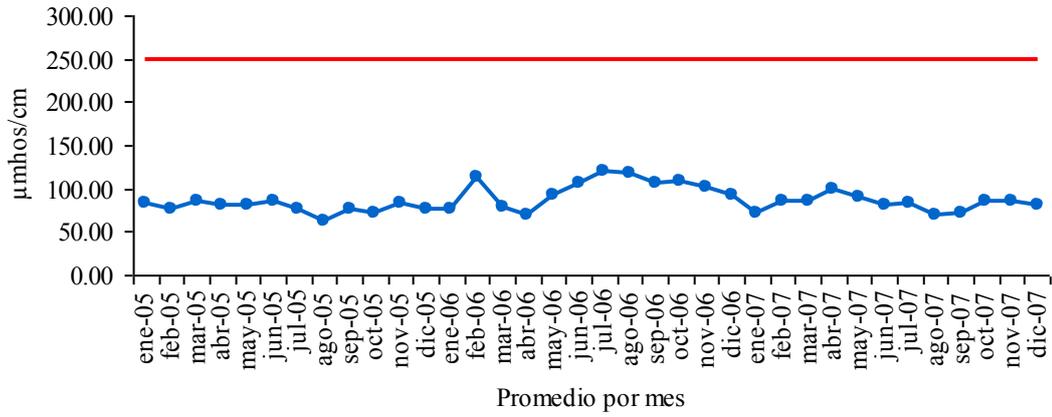
Mes	Coagulante	Floculante	Biocida
	Kg/día	Kg/día	Kg/día
ene-05	118	6	9
feb-05	97	5	8
mar-05	69	3	6
abr-05	76	4	6
may-05	75	4	6
jun-05	82	4	7
jul-05	77	4	6
ago-05	87	4	7
sep-05	58	3	5
oct-05	79	4	6
nov-05	66	3	5
dic-05	71	4	6
ene-06	65	3	5
feb-06	61	3	5
mar-06	66	3	5
abr-06	68	3	5
may-06	47	2	4
jun-06	53	3	4
jul-06	105	5	8
ago-06	106	5	8
sep-06	94	5	8
oct-06	98	5	8
nov-06	84	4	7
dic-06	73	4	6
ene-07	99	5	8
feb-07	118	6	9
mar-07	125	6	10
abr-07	93	5	7
may-07	93	5	7
jun-07	87	4	7
jul-07	67	3	5
ago-07	81	4	6
sep-07	57	3	5
oct-07	86	4	7
nov-07	76	4	6
dic-07	43	2	3
Promedio	81	4	6
Costo Promedio (\$)/día	185	188	15

Tabla A20. Costos en base a promedios de Tablas A3 y A19 sólo para el suministro hacia los sistemas de Torres de Enfriamiento y Agua de Servicios.

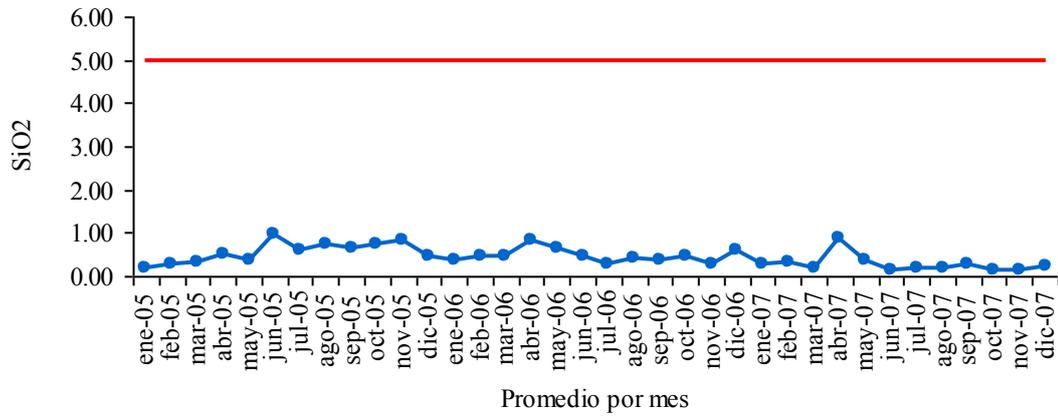
	Agua cruda	Coagulante	Floculante	Hipoclorito	Agua pozo
Días de operación	\$ 5.25/m3	\$2.30/kg	\$46.75/kg	\$2.36/kg	\$10.50/m3
1	25,670.17	185.33	188.35	15.21	51,340.33
2	51,340.33	370.66	376.70	30.43	102,680.67
3	77,010.50	555.99	565.05	45.64	154,021.00
4	102,680.67	741.32	753.40	60.85	205,361.33
5	128,350.83	926.64	941.75	76.07	256,701.67
6	154,021.00	1,111.97	1,130.10	91.28	308,042.00
7	179,691.17	1,297.30	1,318.45	106.49	359,382.33
8	205,361.33	1,482.63	1,506.80	121.70	410,722.67
9	231,031.50	1,667.96	1,695.16	136.92	462,063.00
10	256,701.67	1,853.29	1,883.51	152.13	513,403.33

ANEXOS GRÁFICAS.

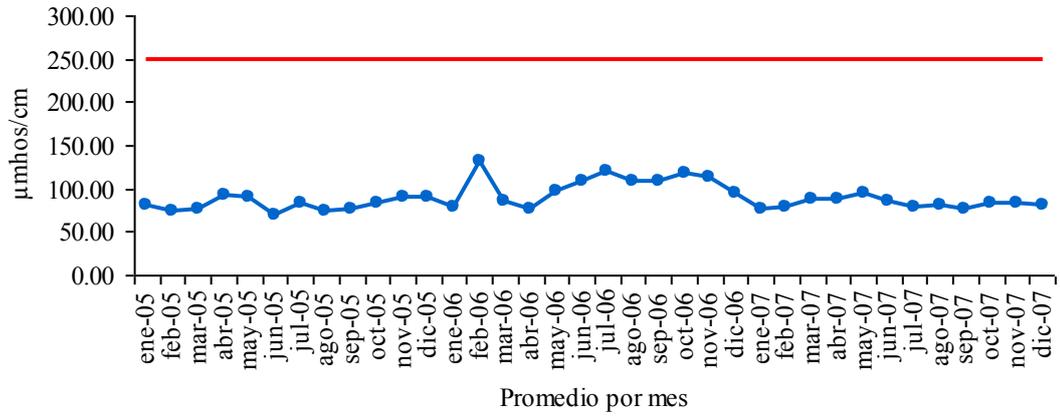
Gráfica A1. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldera 1



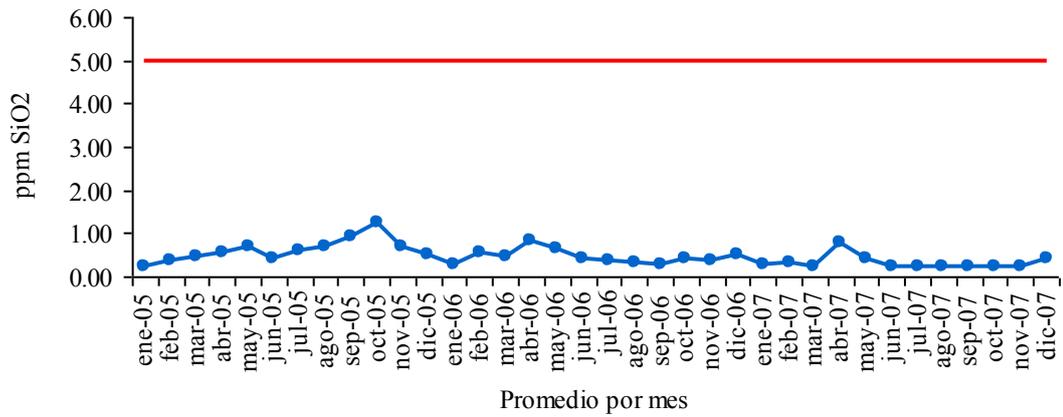
Gráfica A2. Tendencia de sílice en Caldera 1



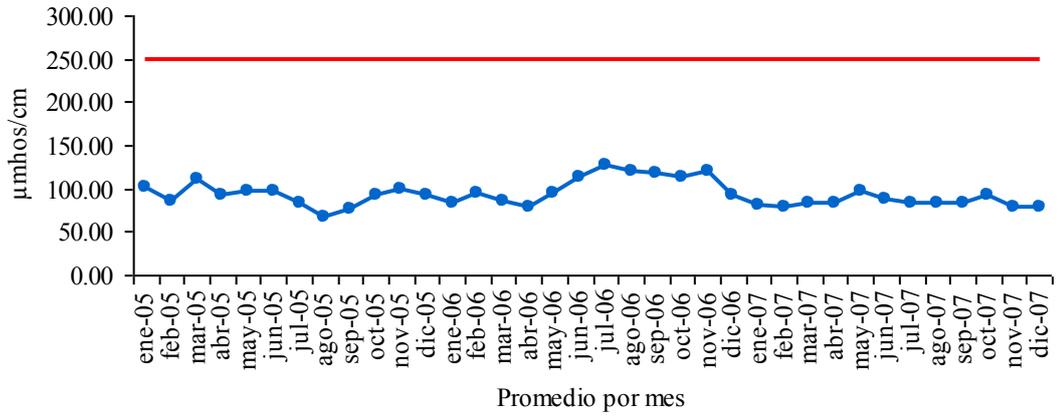
Gráfica A3. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldera 2



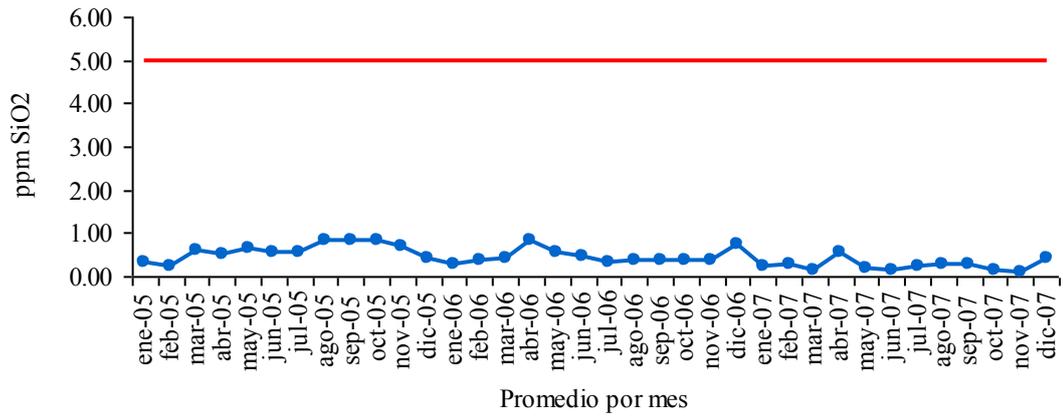
Gráfica A4. Tendencia de sílice en Caldera 2



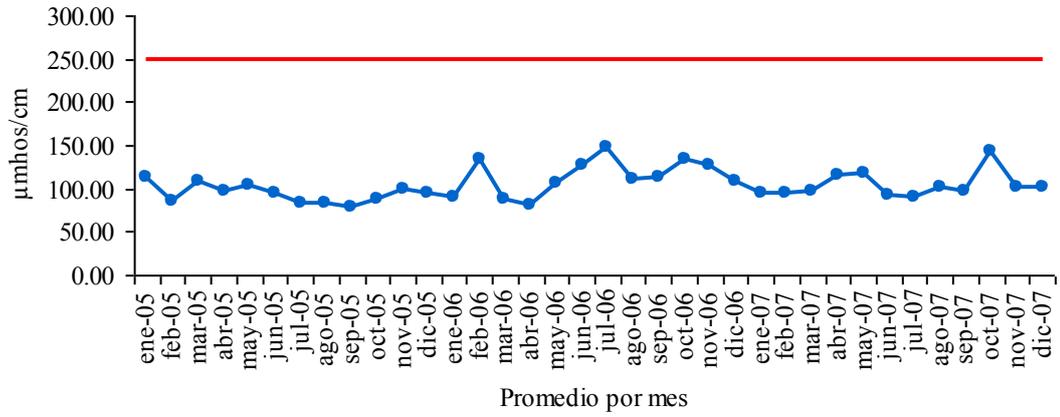
Gráfica A5. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldera 3



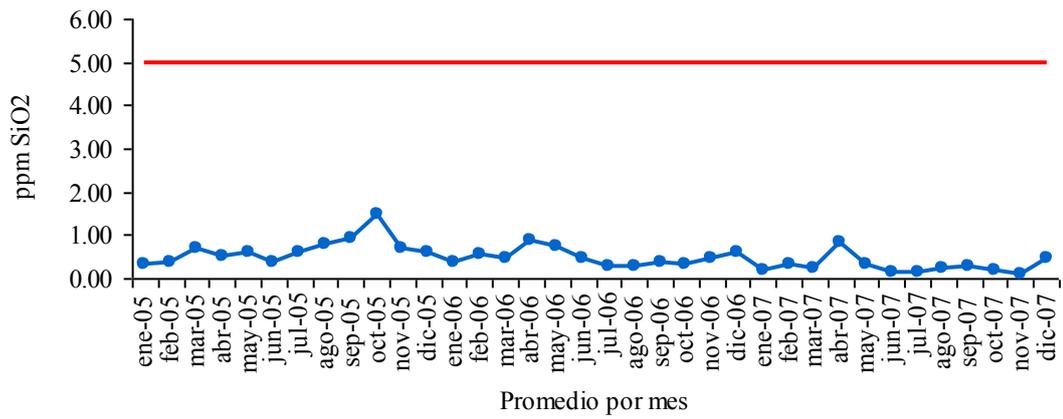
Gráfica A6. Tendencia de sílice en Caldera 3



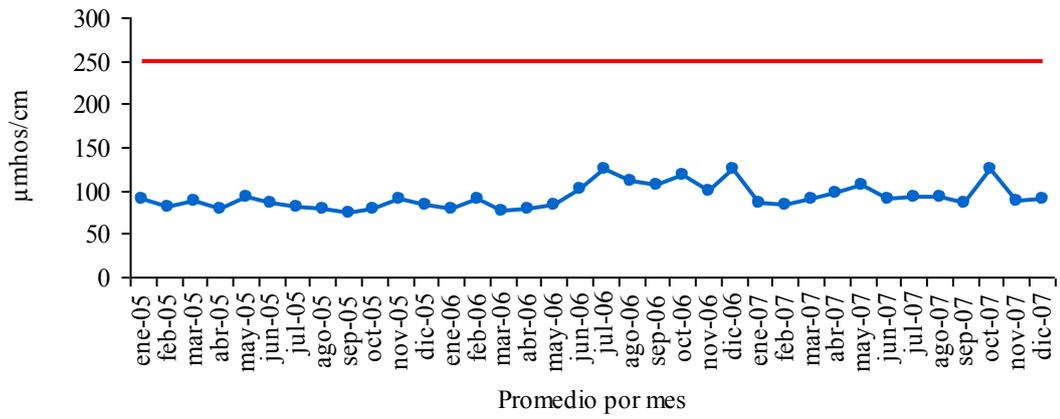
Gráfica A7. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldera 4



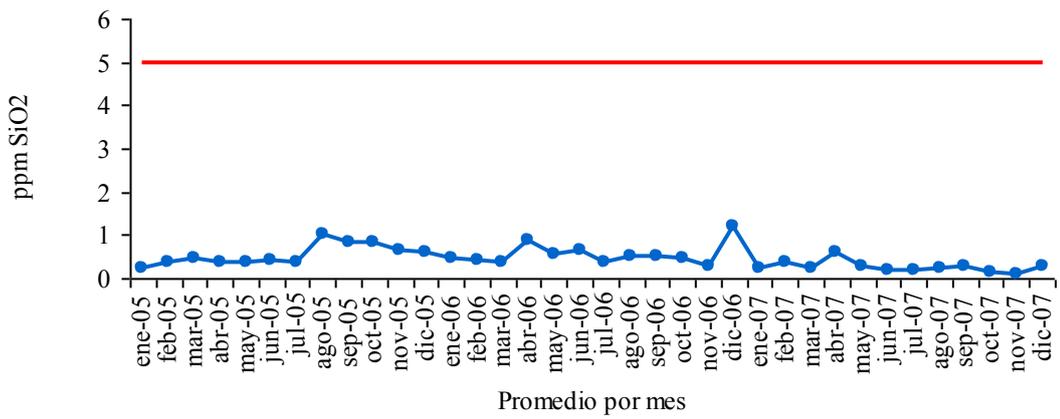
Gráfica A8. Tendencia de sílice en Caldera 4



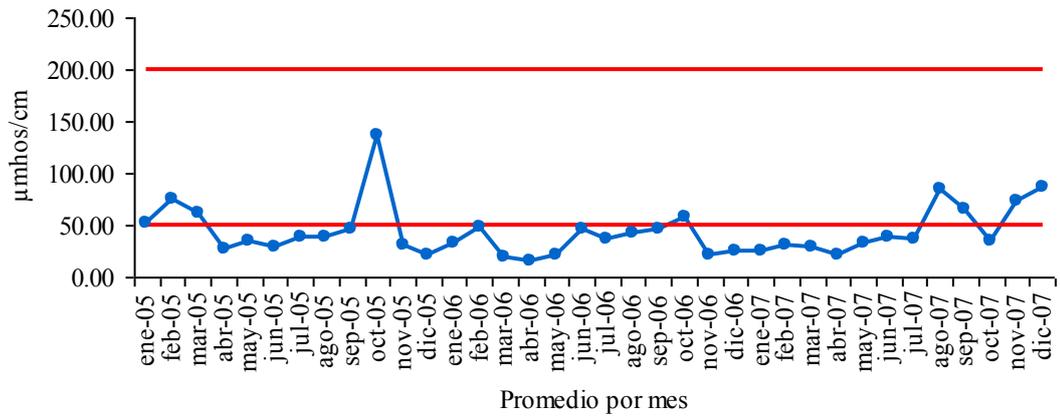
Gráfica A9. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldera 5



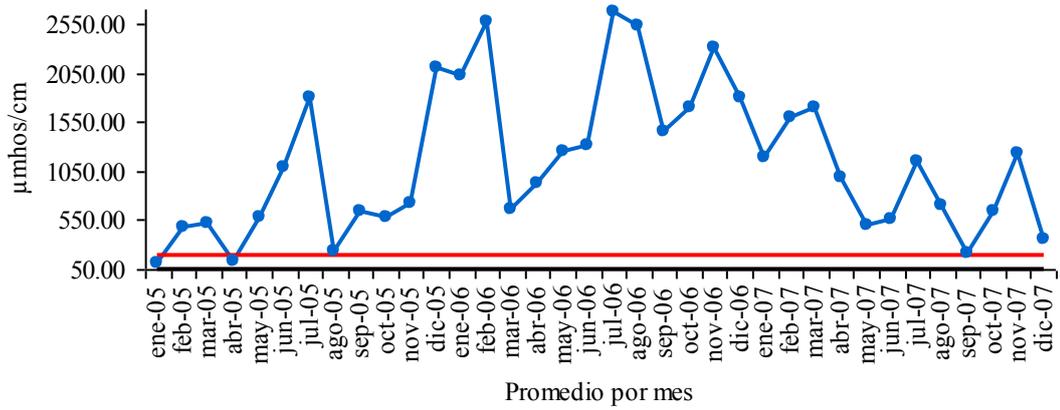
Gráfica A10. Tendencia de sílice en Caldera 5



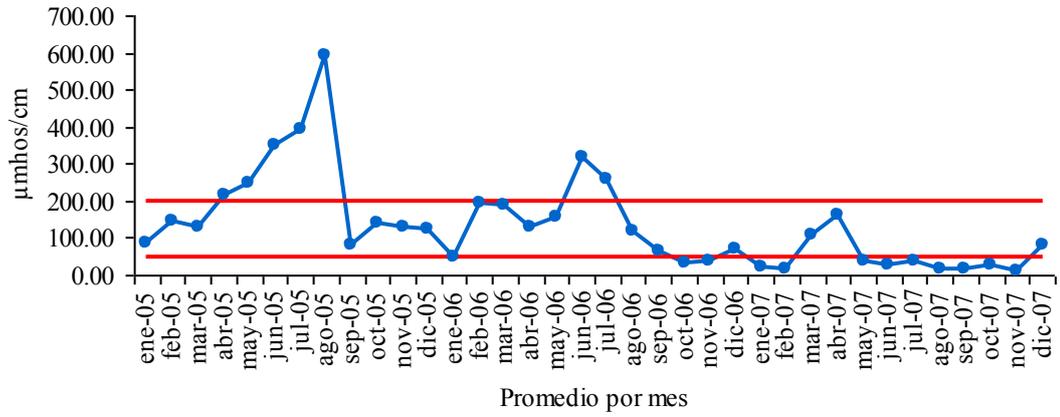
Gráfica A11. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 1



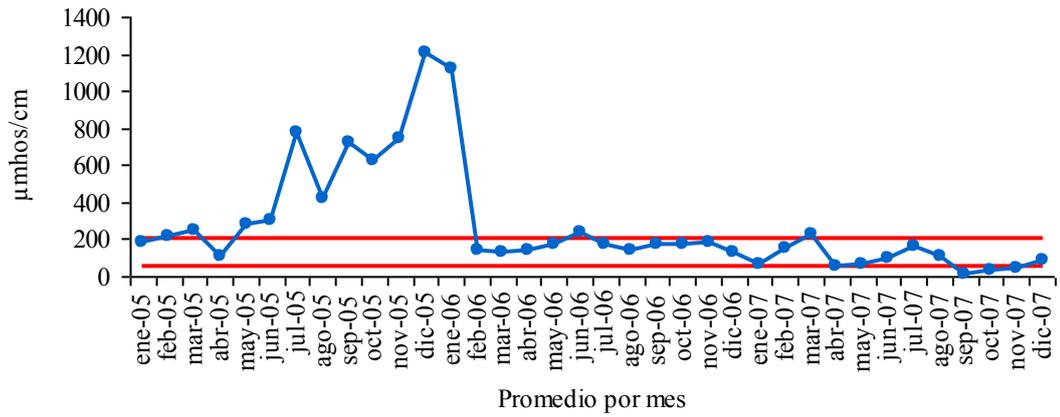
Gráfica A12. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 2



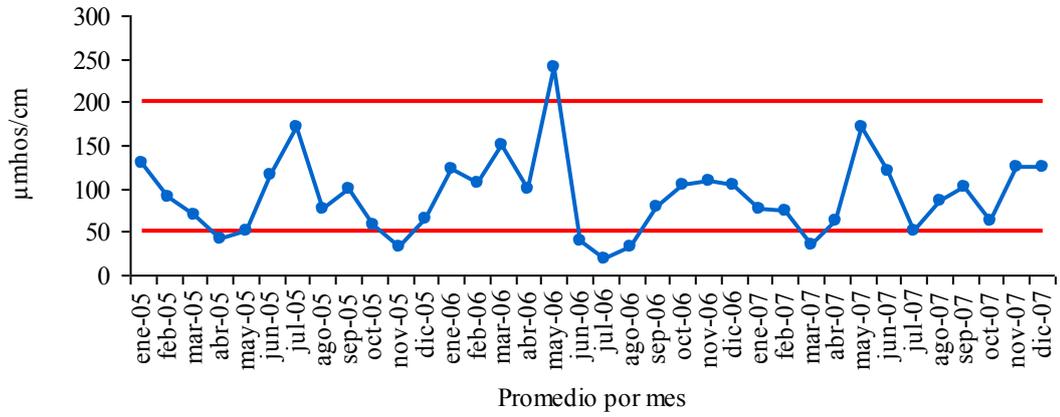
Gráfica A13. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 3



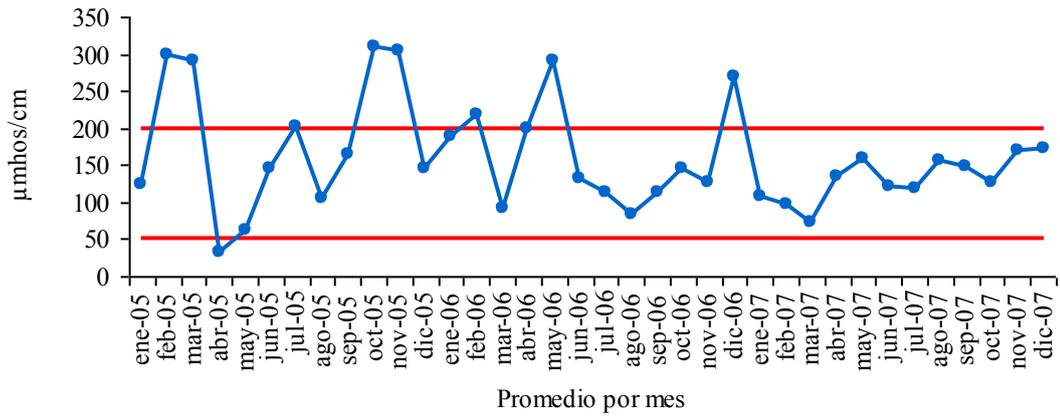
Gráfica A14. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 4



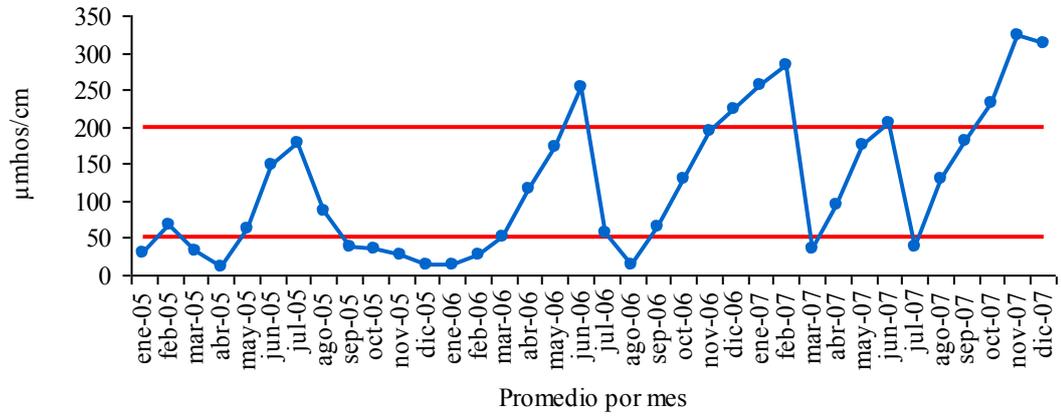
Gráfica A15. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 5



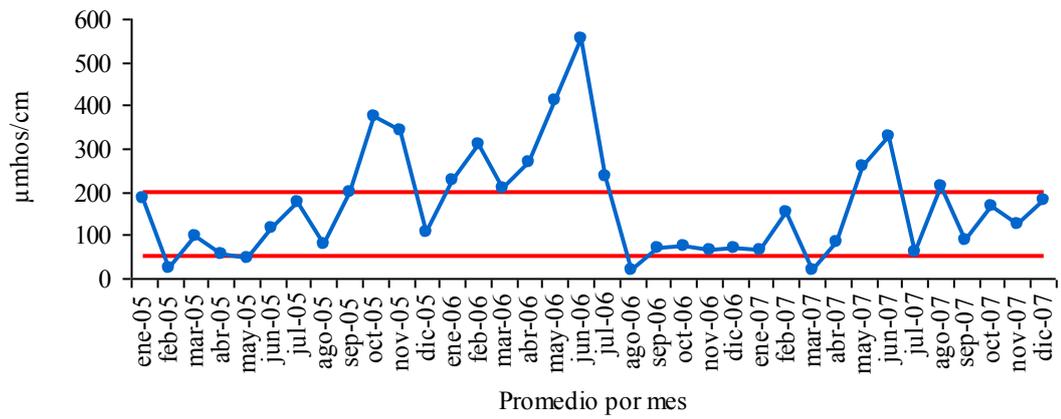
Gráfica A16. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 6



Gráfica A17. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 7



Gráfica A18. Tendencia de conductividad eléctrica en Caldereta 8



GLOSARIO

Átomo. Es la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos.

Biocida. Sustancias químicas sintéticas, naturales o de origen biológico o de origen físico y están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir cualquier desarrollo de un microorganismo.

Caldera. Es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado. Éste vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

Caldereta. Es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado; sólo que es una caldera tipo Piro-tubular, es decir, el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula fuego o gases calientes producto de un proceso de combustión.

Calor latente. Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado.

Calor latente de fusión. La energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado sólido a líquido.

Calor latente de vaporización. La energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado líquido a sólido.

Capacidad calorífica. La capacidad de un cuerpo es razón de la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo en un proceso cualquiera por su cambio de temperatura correspondiente.

Capilaridad. Es la cualidad que posee una sustancia de absorber a otra.

Compuesto químico. Es una sustancia formada por la unión de 2 o más elementos de la tabla periódica.

Compuestos inorgánicos. Aquellos que están formados por distintos elementos, pero en los que su componente principal no siempre es el carbono, siendo el agua el más importante.

Compuestos orgánicos. Sustancias químicas que contienen carbono.

Condensación. Al proceso físico que consiste en el paso de una sustancia en forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la ebullición.

Corrosión. Es definida como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

Deareador. Equipo para remover oxígeno disuelto en el agua; mediante etapas de equilibrio al poner en contacto el agua saturada de oxígeno y una corriente de vapor puro.

Disociación. Es un proceso general en el cual complejos, moléculas o sales se separan en moléculas más pequeñas, iones o radicales, usualmente de manera reversible.

Menisco. Es la curva en la superficie de un líquido que se produce en respuesta a la superficie de su recipiente. Esta curvatura puede ser cóncava o convexa.

Mezcla. Es una combinación de dos o más sustancias en la cual no ocurre transformación de tipo químico, de modo que no ocurren reacciones químicas. Las sustancias participantes conservan su identidad y propiedades.

Molécula. Es una partícula formada por un conjunto de átomos ligados por enlaces.

Neutralización química. Es la combinación de iones hidrógeno y de iones hidróxido para formar moléculas de agua. Durante este proceso se forma una sal. Las reacciones de neutralización son generalmente exotérmicas, lo que significa que producen calor.

PIB (Producto Interno Bruto). Es el valor monetario total de la producción corriente de bienes y servicios de un país durante un período (normalmente es un trimestre o un año).

Punto de fusión. es la temperatura a la cual el estado sólido y el estado líquido de una sustancia, coexisten en equilibrio térmico, a una presión de 1 atmósfera, o bien el *punto de equilibrio* entre los estados sólido y líquido de una sustancia dada.

Punto de ebullición. Es la temperatura que debe alcanzar éste para pasar del estado líquido al estado gaseoso.

Reacción Química. Es todo proceso químico en el que una o más sustancias (*reactivos* o *reactantes*) sufren transformaciones químicas para convertirse en otra u otras (*productos*).

Solución química. Mezcla homogénea de moléculas o átomos de una o más sustancias

Tensión superficial. Al fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica.

Tratamiento de aguas. Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

Tubo de Venturi. Es un dispositivo inicialmente diseñado para medir la velocidad de un fluido aprovechando el efecto Venturi. Sin embargo, algunos se utilizan para acelerar la velocidad de un fluido obligándole a atravesar un tubo estrecho en forma de cono. Estos modelos se utilizan en numerosos dispositivos en los que la velocidad de un fluido es importante.

Vaporización. Es el cambio de estado de líquido a gaseoso.

Vaporización por Ebullición. Para que ello ocurra debe aumentar la temperatura en toda la masa del líquido. A la temperatura durante la cual se dice que un determinado líquido hierve se la llama punto de ebullición.

Vaporización por evaporación. La vaporización sólo ocurre en la superficie del líquido.

Venturi. Consiste en que la corriente de un fluido dentro de un conducto cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor.

BIBLIOGRAFÍA

Ashland Chemical Company.

Boiler Water Treatment. Technical Training Manual.
Drew Industrial Division.

Ashland Chemical Company.

Cooling Water Treatment. Technical Training Manual
Drew Industrial Division.

Ashland Chemical Company.

Principles of Industrial Water Treatment.
Drew Industrial Division.

Arturo Morales Rodríguez.

Química I.
SEV.

Carl D. Shield.

Calderas. Tipos, Características y sus Funciones.
CONTINENTAL.

Ingeniería – Servicio Complejo Cangrejera

Manuales de Tecnología.
Celanese Mexicana.

José Eduardo Williams.

Análisis de Riegos en Proyectos.

Milton K. Snyder.

Química. Estructuras y Reacciones.
CECSA

REFERENCIAS EN INTERNET

<http://www.idesaa.edu.mx/v2/seminvestigacion/PlanteamientodelProblema.pdf>

<http://www.escribimos.com/hipotesis.htm>

http://www.itpachuca.edu.mx/descargas/Taller-Titulaci%C3%B3n-web/seguimiento_archivos/JUSTIFICACI%C3%93N.ppt

<http://www.mistareas.com.ve/Objetivos.htm>

<http://www.cna.gob.mx/conagua/Default.aspx>

http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=17439_208&ID2=DO_TOPIC#

http://es.wikipedia.org/wiki/Depuraci%C3%B3n_de_aguas

http://www.quiminet.com.mx/ar7/ar_%2521%25A1%258F%257BjC%2597%255E.htm

<http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html>

<http://docs.icarito.cl/mm/2006/hidrologico.swf>

http://www.lenntech.com/espanol/agua_desionizada_desmineralizada.htm

www.conagua.gob.mx