



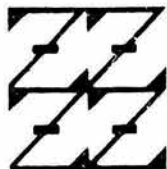
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
PLANTEL "ZARAGOZA"

"INGENIERIA BASICA DE PROCESO PARA LA PLANTA
POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO"

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
LAURA PATRICIA ESQUIVEL ESPINOSA

U N A M
FES
ZARAGOZA



LO HUMANO ES JE
DE NUESTRA REFLEXION

ASESOR: DR. ROBERTO MENDOZA SERNA

MEXICO, D. F.

SEPTIEMBRE - 2004

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/027/04

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: ESQUIVEL ESPINOSA LAURA PATRICIA

P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Eduardo Loyo Arnaud
Vocal:	Dr. Roberto Mendoza Serna
Secretario:	I.Q. Eduardo Vázquez Zamora
Suplente:	Q.F.B. Enriqueta Castrejón Rodríguez
Suplente:	I.Q. Gonzalo Rafael Coello García

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D. F., 20 de Mayo de 2004

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

♣

“Cualesquiera que hayan sido nuestros logros, alguien nos ayudó siempre a alcanzarlos”

Alma: Te lo debía.

Mamá, Papá: Hoy veo llegar a su fin una de las melas de mi vida, gracias por su apoyo, orientación y paciencia. Sobre todo gracias por el amor sin condición que me han brindado. Los amo.

Carlos y Alejandra: Hermanitos, creo que nunca se los dije, pero les agradezco toda su paciencia, su comprensión y sobre todo su cariño.

Karla: Lo más bonito que me ha podido pasar en la vida eres tú! ¡Te quiero muchísimo y te amo más todavía! Gracias por existir y hacerme feliz cada segundo de mi vida. Dios me ha bendecido con tu presencia, eres mi más grande motivo para ser mejor todos los días. Hija te amo.

Dr. Mendoza: Gracias por su tiempo, su dedicación y apoyo.

Al Jurado: Gracias a cada uno de ustedes por sus sugerencias y comentarios al contenido.

“Nada es tan cansado como la eterna presencia de una tarea incompleta”

ÍNDICE

ANTECEDENTES	-----	1
INTRODUCCIÓN	-----	2
OBJETIVOS	-----	3
ALCANCES	-----	3
CAPÍTULO 1.- CALIDAD DEL AGUA DE POZO		
1.1 PROPIEDADES DEL AGUA	-----	4
1.1.1 PROPIEDADES BIOQUÍMICAS	-----	5
1.1.2 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS	-----	5
1.1.3 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS	-----	7
1.2 EL AGUA Y SUS CONTAMINANTES	-----	7
1.2.1 ANÁLISIS DEL AGUA	-----	9
1.3 NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD	-----	18
1.4 INFORMACIÓN BÁSICA DEL POZO	-----	21
1.5 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL POZO	-----	22
CAPÍTULO 2.- DEFINICIÓN DEL TREN DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS		
2.1 PROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA	-----	32
2.1.1 PROCESOS FÍSICOS	-----	32
2.1.1.1 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	-----	32
2.1.1.2 SEDIMENTACIÓN	-----	37
2.1.1.3 FILTRACIÓN	-----	42
2.1.1.4 ADSORCIÓN	-----	50
2.1.2 PROCESOS QUÍMICOS	-----	58
2.1.2.1 INTERCAMBIO IÓNICO	-----	58
2.1.3 PROCESOS BACTERIOLÓGICOS	-----	67
2.1.3.1 DESINFECCIÓN	-----	67
2.2 DEFINICIÓN DEL TREN DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS	-----	80
2.2.1 REMOCIÓN DE FIERRO Y MANGANESO	-----	81
2.2.2 ABATIMIENTO DEL COLOR	-----	85
2.2.3 DESINFECCIÓN	-----	86
CAPÍTULO 3.- BASES DE DISEÑO		
3.1 BASES DE DISEÑO	-----	90
3.2 CRITERIOS DE DISEÑO	-----	91
3.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESO	-----	92
3.4 SERVICIOS AUXILIARES	-----	93
3.5 FILOSOFÍAS DE OPERACIÓN	-----	94
3.6 CÓDIGOS, ESTÁNDARES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS	-----	95

CAPÍTULO 4.- MEMORIA DESCRIPTIVA Y CÁLCULO DE LOS PROCESOS

4.1. OXIDACIÓN	-----	98
4.1.1 CÁLCULO DE LA DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO	-----	99
4.1.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE MEZCLADO	-----	100
4.2 FILTRACIÓN	-----	106
4.2.1. BASES DE DISEÑO	-----	106
4.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FILTROS	-----	108
4.2.3. CÁLCULO DE LA ΔP EN LECHO LIMPIO EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN	-----	109
4.2.4. HIDRÁULICA DEL RETROLAVADO	-----	112
4.2.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL FILTRO	-----	118
4.2.6 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN	-----	121
4.3 ADSORCIÓN	-----	123
4.3.1 LA ZONA DE TRANSFERENCIA DE MASA	-----	123
4.3.2 RELACIÓN ENTRE EL PUNTO DE RUPTURA Y EL DISEÑO DEL SISTEMA	-----	123
4.3.3 ADSORBEDORES DE CAG, MODOS DE OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN	-----	124
4.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE CA	-----	126
4.3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN	-----	129
4.3.6 OPERACIÓN DE UNIDADES DE ADSORCIÓN	-----	130
4.4 DESINFECCIÓN	-----	132
4.4.1 DISEÑO DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN	-----	133
4.4.2 DOSIS DE CLORO	-----	134
4.4.3 CÁLCULO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO	-----	135
4.4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CONTACTO PARA DESINFECCIÓN	-----	136
4.4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN	-----	138
4.5 SISTEMA DE AGUAS RECUPERADAS	-----	138
4.5.1 DIMENSIONAMIENTO DE TANQUE DE AGUAS RECUPERADAS	-----	139
4.5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS	-----	140
4.5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA RECUPERADAS	-----	142
4.6 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO	-----	143
4.6.1 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A FILTROS PRESURIZADOS	-----	145
4.6.2 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN	-----	146
4.6.3 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A	-----	147

FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS

CAPÍTULO 5.- DOCUMENTOS DE INGENIERÍA BÁSICA DE PROCESO		
5.1 LISTAS DE PLANOS Y DOCUMENTOS	-----	150
5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (DFP)	-----	151
5.3 PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL DE EQUIPO (PLG)	-----	152
5.4 DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (DTI'S)	-----	153
5.4 LISTA DE EQUIPO	-----	154
5.6 INDICE DE SERVICIOS	-----	155
5.7 HOJAS DE DATOS (H.D.)	-----	156
CONCLUSIONES	-----	158
BIBLIOGRAFÍA	-----	160

ANTECEDENTES

Cada vez que tomamos un sorbo de agua fresca, esta es nueva para nosotros. Pero no es agua nueva. Esta agua ha sido reciclada una y otra vez desde los comienzos del universo.

En estos momentos tenemos toda el agua que tendremos o que hemos tenido. La falta de agua fresca, es uno de los temas más trascendentes al cual se ve enfrentada América Latina en el presente tiempo.

La Ciudad de México ha recurrido a través de su historia a diversas fuentes para abastecerse de agua, desde los manantiales del propio Valle de México hasta fuentes externas. Actualmente la Ciudad de México cuenta con 35,200 litros por segundo de agua provenientes principalmente del subsuelo del Valle de México que aporta el 58% de dicho caudal; otro 27% proviene de la Cuenca del Cutzamala y es transportada desde una distancia de 127 kilómetros y bombeada a una altura de más de 1,000 metros para introducirla al valle de México; el resto es aportado por manantiales de la Ciudad y por el Acuífero del Valle de Lerma.

La necesidad de lograr que el agua que se distribuye a la población del Distrito Federal, sea suficiente y de buena calidad, ha obligado a las autoridades competentes a ejercer las acciones pertinentes que permitan satisfacer en lo posible esta necesidad, entre estas acciones se encuentra la ejecución de diferentes programas que tienen que ver con la vigilancia de la calidad del agua que proviene de las diferentes fuentes de abastecimiento (pozos y manantiales) localizadas en el Distrito Federal. Los resultados que se desprenden de estos programas, plantean la necesidad de contar con sistemas de mejoramiento de calidad en las fuentes de abastecimiento que así lo requieran.

Los principales programas del Gobierno del Distrito Federal para el incremento de caudales son el de Detección y Supresión de Fugas no visibles en la Red de Agua Potable, el de Rehabilitación de Pozos, y el de puesta en marcha de plantas potabilizadoras de agua de pozo.

Los resultados obtenidos a través de la ejecución de programas de monitoreo constante a los diferentes pozos perforados en el Distrito Federal, permiten identificar los pozos cuyo efluente es un agua no apta para el consumo humano por no cumplir con los requerimientos de calidad fijados por la Norma Oficial Mexicana NOM-127 SSA1-1994, así como con los criterios de calidad que ha establecido la D.G.C.O.H.(Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica), dependencia Gubernamental que tiene a su cargo la vigilancia y el control de la calidad del agua que se distribuye al Distrito Federal.

Con el objetivo de mejorar la calidad del agua y satisfacer la creciente demanda de la población, se han implementado en los últimos años procesos de potabilización en los pozos que presentan calidad deficiente. Este es el caso del pozo "Trabajadores del Hierro", cuyo efluente rebasa los valores de calidad establecidos en cuanto a las concentraciones de Manganeseo y Nitrógeno proteico. En este documento se desarrollará la ingeniería Básica para la potabilización del agua efluente de este pozo.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta el desarrollo de la Ingeniería Básica de proceso, para la potabilización del agua del pozo “Trabajadores del Hierro”.

Para el desarrollo de este trabajo se recibió, el apoyo de la dependencia gubernamental que tiene a su cargo el monitoreo y control de la calidad del agua que se distribuye a los habitantes del Distrito Federal, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), a través de la Subdirección de Desarrollo Tecnológico (SDT), responsable del laboratorio central de control de calidad del agua. Esta subdirección mantiene un programa de monitoreo constante de la calidad del efluente de pozos, plantas potabilizadoras y manantiales que abastecen de agua potable al DF. y cuenta con el historial de calidad del efluente de cada uno de ellos.

Como primera acción para el desarrollo de este trabajo, se realizó la recopilación de la información con la que la SDT cuenta para este pozo referente a la localización del mismo, su historial de calidad y la infraestructura existente para así poder realizar el análisis de la calidad de esta agua y así basados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127 SSA1-1994, y en los criterios de calidad que la D.G.C.O.H. ha establecido, los parámetros en los que este efluente presenta problemas de concentración.

El planteamiento de las alternativas de procesos y operaciones unitarias, así como la selección de la más adecuada para tratar el agua de pozo, se realizó en base a resultados de calidad del agua del pozo y resultados experimentales que fueron proporcionados por la Subdirección de Desarrollo Tecnológico (D.G.C.O.H.). Estos resultados experimentales, corresponden a pruebas de tratabilidad a nivel de planta piloto que la misma D.G.C.O.H. ha venido realizando desde 1984 en la planta piloto de Potabilización Avanzada “Cerro de la Estrella”.

Una vez definido el tren de procesos y operaciones unitarias, se procede al diseño de las unidades de proceso, estableciendo las bases y las filosofías de diseño con las cuales se desarrollará la Ingeniería, comenzando con el dimensionamiento de equipos de proceso y dimensionamiento de líneas, cálculo de bombas, etc. y así comenzar con la elaboración de los distintos documentos que componen la Ingeniería: Plano de localización General de Equipo, Diagrama de Flujo de Proceso, Diagrama de Tubería e Instrumentación, Índices de Servicio, Lista de Líneas, Hojas de Datos, Memorias de cálculo, etc.

OBJETIVOS

- Proponer un tren de procesos y operaciones unitarias adecuado que permita potabilizar el agua del pozo “Trabajadores del Hierro”.
- Desarrollar la ingeniería básica de proceso para potabilizar el agua del pozo “Trabajadores del Hierro”.

ALCANCES

- Proponer un tren de tratamiento que permita la potabilización del agua de pozo.
- EL dimensionamiento y cálculo de los equipos y unidades de proceso que componen el tren de tratamiento propuesto.
- Generar los documentos que componen la Ingeniería Básica de Proceso:

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL

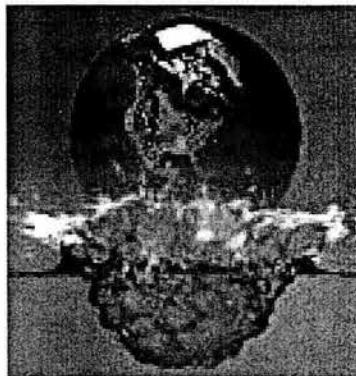
DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

LISTA DE EQUIPO

ÍNDICE DE SERVICIOS

HOJAS DE DATOS DE EQUIPO DE PROCESO

CAPITULO 1. -CALIDAD DEL AGUA DE POZO



1.- CALIDAD DEL AGUA DE POZO

1.1 PROPIEDADES DEL AGUA

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C y se expande al congelarse. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25° C sin que se congele.

El agua es fuente de vida, toda la vida depende del agua. El agua constituye un 70% de nuestro peso corporal. Necesitamos agua para respirar, para lubricar los ojos, para desintoxicar nuestros cuerpos y mantener constante su temperatura. Por eso, aunque un ser humano puede vivir por más de dos semanas sin comer, puede sobrevivir solamente tres o cuatro días sin tomar agua. Las plantas serían incapaces de crecer y de obtener su alimento sin ella.

El agua por sí misma es incolora y no tiene olor ni gusto definido. Sin embargo, tiene unas cualidades especiales que la hacen muy importante, entre las que destacan el hecho de que sea un regulador de temperatura en los seres vivos y en toda la biosfera, por su alta capacidad calórica (su temperatura no cambia tan rápido como la de otros líquidos).

1.1.1 PROPIEDADES BIOQUÍMICAS

Los seres vivos se han adaptado para utilizar químicamente el agua en dos tipos de reacciones. En la fotosíntesis es la que los enzimas utilizan el agua como fuente de átomos de hidrógeno. En las reacciones de hidrólisis, en que los enzimas hidrolíticos han explotado la capacidad del agua para romper determinados enlaces hasta degradar los compuestos orgánicos en otros más simples, durante los procesos digestivos.

1.1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

En la tabla 1.1, se muestra un resumen de las propiedades físicas y químicas del agua³.

Tabla 1.1 Propiedades físicas y químicas del agua.

Propiedad	Unidades	Dimensión
Peso molecular	Gr/mol	18
Punto de congelación	°C / ° F	0 / 32
Punto de ebullición	°C / ° F	100 / 212
Temperatura crítica	° C	374.2
Presión crítica	ATM	278.4
Calor de fusión		79.7
Calor de vaporización a 100 °C	Cal/gr °	539.5
Calor específico	Cal / gr °C	1
Peso específico	Cal / gr °C	1
Índice de refracción	-----	1.333

Acción Disolvente: El agua es el líquido que más sustancias disuelve (disolvente universal), esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua. La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones importantes para los seres vivos: es el medio en que transcurren las mayorías de las reacciones del metabolismo, el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos se realizan a través de sistemas de transporte acuosos.

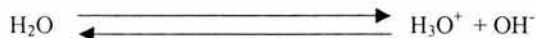
Fuerza de cohesión entre sus moléculas: Los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible.

Elevada fuerza de adhesión: De nuevo los puentes de hidrógeno del agua son los responsables, al establecerse entre estos y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión de la capilaridad, al cual se debe, en parte, la ascensión de la sabia bruta desde las raíces hasta las hojas.

Gran calor específico: El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. Esta propiedad permite al citoplasma acuoso, servir de protección para las moléculas orgánicas en los cambios bruscos de temperatura.

Elevado calor de vaporización: A 20° C se precisan 540 calorías para evaporar un gramo de agua, lo que da idea de la energía necesaria para romper los puentes de hidrógeno establecidos entre las moléculas del agua líquida y, posteriormente, para dotar a estas moléculas de la energía cinética suficiente para abandonar la fase líquida y pasar al estado de vapor.

Bajo grado de ionización: De cada 107 moléculas de agua, sólo una se encuentra ionizada.



Esto explica que la concentración de iones hidrónio (H_3O^+) y de los iones hidroxilo (OH^-) sea muy baja. Dado los bajos niveles de H_3O^+ y de OH^- (1×10^{-7} mol/L), si al agua se le añade un ácido o una base, aunque sea en poca cantidad, estos niveles varían bruscamente.

1.1.3 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

El agua pura es incolora, inodora e insípida. No obstante, en el medio natural el agua dista mucho de ser pura y presenta propiedades específicas que afectan a los sentidos. Estas propiedades se denominan propiedades organolépticas y afectan al gusto, olor, aspecto y tacto, distinguiéndose: temperatura, sabor, olor, color y turbidez.

1.2 EL AGUA Y SUS CONTAMINANTES

El agua es el primer alimento en importancia para todos los seres vivos, sin él no se puede resistir más de 4 - 5 días. A través del agua ingerimos infinidad de oligoelementos entre ellos minerales, imprescindibles para el equilibrio ácido - básico y el funcionamiento de cada uno de los aparatos y sistemas en el cuerpo humano.

El agua potable que consumimos no es agua pura, la potabilidad del agua es decir, la característica de ésta que hace que sea adecuada para su consumo sin causarnos ningún daño en nuestra salud en el corto mediano o largo plazo, no implica que el agua sea pura o sin componentes que no sean el agua misma.

El agua que llega en forma de lluvia originalmente sí es agua pura, ya que la misma ha sido evaporada de la superficie de la tierra por la acción del sol. A medida que se forman las gotas de lluvia, el agua disuelve gases que se encuentran en la atmósfera como son el oxígeno y el bióxido de carbono principalmente.

Una vez que las gotas de lluvia alcanzan la superficie de la tierra empieza la acción disolvente del agua. En química decimos que el agua es el disolvente universal. Con muy pocas excepciones el agua es capaz de disolver cualquier sustancia: la sal y el azúcar se disuelven fácilmente, el alcohol o la gasolina se mezclan con el agua, y así ocurre con muchos compuestos.

Si colocamos en un vaso de agua pura una piedra de caliza, aparentemente no ocurre nada y podemos dejar esa roca en contacto con el agua durante varios días y no observamos ningún cambio, sin embargo, un análisis químico nos indica que parte de la roca es ya parte del agua, algo que no se detecta en la piedra ya que las cantidades de material que se disolvieron en el agua son mínimas comparadas con su peso, pero que tendrán efectos muy importantes en la calidad del agua.

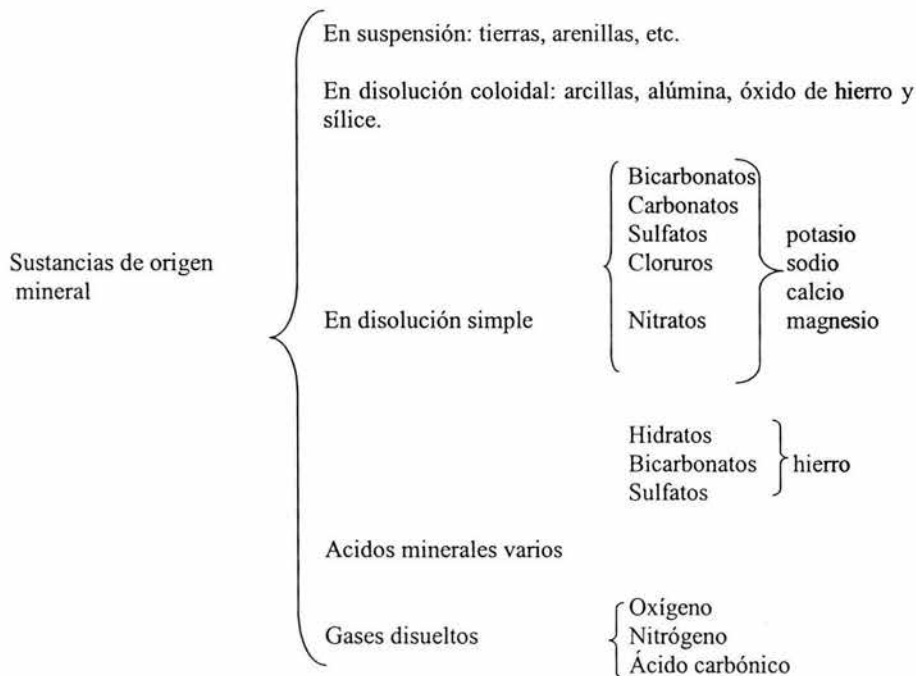
Por un mecanismo similar se integran al agua componentes químicos como sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfatos, bicarbonatos, sulfatos, etc., componentes que no son perjudiciales a la salud y que inclusive son nutrientes para nuestro organismo y que le dan sabor y calidad al agua (el dicho de que el agua debe ser inodora, incolora e insípida no aplica en las aguas naturales).

Desafortunadamente, el poder disolvente del agua también causa la disolución de algunos componentes indeseables y que son perjudiciales a nuestra salud aun en muy pequeñas cantidades. Para una discusión más amplia y detallada de los posibles contaminantes del agua describiremos a continuación cada uno de ellos.

Las sustancias que el agua contiene pueden ser de origen mineral, orgánico y organismos vivos, y que a su vez pueden estar en suspensión, disolución coloidal, disolución simple, como ácidos minerales y en gases disueltos.

El cuadro 1, es un resumen de las sustancias y la forma en que estas se pueden encontrar en el agua:

Cuadro 1 Forma en la que las sustancias se encuentran en el agua.





Esto es natural, pues el agua químicamente pura (H_2O) no existe en la naturaleza, debido a que al caer desde las nubes se carga de impurezas de la atmósfera y luego del suelo.

1.2.1 ANÁLISIS DEL AGUA

Para determinar la calidad de un agua se realizan principalmente tres tipos de análisis los que a continuación se describen.

- Análisis físicos
- Análisis químicos
- Análisis bacteriológicos

a) Análisis físicos del agua.

Turbiedad: La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, o sea, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían de tamaño desde

dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc.

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Color: Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales.

Se reconocen dos tipos de color, el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento.

Las aguas superficiales pueden estar coloridas debido a la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), humus, materia orgánica y contaminantes domésticos e industriales como en el caso de las industrias de papel, curtido y textil; esta última causa coloración por medio de los desechos de teñido los cuales imparten colores en una amplia variedad y son fácilmente reconocidos y rastreados.

El agua de uso doméstico e industrial tiene como parámetro de aceptación, la de ser incolora, pero en la actualidad, gran cantidad del agua disponible se encuentra colorida y se tiene el problema de que no puede ser utilizada hasta que no se le trata removiendo dicha coloración.

Olor y sabor: Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos, muchas pueden ser las causas, entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

Temperatura: La determinación de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo la actividad biológica se relaciona con la temperatura.

b) Análisis bacteriológicos del agua

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal.

La transmisión a través del agua de organismos patógenos ha sido la fuente más grave de epidemias de algunas enfermedades. Entre las enfermedades más conocidas cuyos gérmenes pueden ser transmitidos por el agua están las siguientes:

De origen bacterial

- Fiebre tifoidea
- Fiebre paratifoidea
- Cólera
- Tularemia
- Disenteria bacilar
- Gastroenteritis
- Enfermedad de Weil
- Infecciones del oído

Las seis primeras son casi siempre el resultado de contaminación fecal. La enfermedad de Weil ocurre esporádicamente entre trabajadores de alcantarillado; el reservorio de la infección son las ratas. Los gérmenes pueden introducirse al hombre a través de heridas pequeñas de la piel, la boca y la nariz. Infecciones del oído por *Pseudomonas aureginosa* se han encontrado en bañistas de aguas contaminadas.

Protozoos patógenos

- Disenteria amibiana
- Giardiasis
- Meningoencefalitis
- Criptosporidiosis

La amibiasis es una importante causa de morbilidad y mortalidad, particularmente entre los infantes. La infección se establece, en general, en el colon; con formas más severas en el hígado y el cerebro. La giardiasis es una enfermedad diarreica severa causada por el protozoo *Giardia lamblia*

De origen viral

Los principales virus asociados con el agua son:

- Gastroenteritis viral
- Diarrea viral
- Hepatitis infecciosa

Virus del polio (3 tipos)
 Virus Adeno (32 tipos)
 Virus Echo (34 tipos)
 Virus Coxsackie, grupo A (26 tipos)
 Virus Coxsackie, grupo B (6 tipos)
 Virus Reo (3 tipos)

El virus más importante asociado con epidemias de origen hídrico es el de la hepatitis infecciosa. Los demás son todos factores potenciales de epidemias de origen hídrico pues son arrojados en los excrementos humanos, aunque no existen pruebas evidentes de su diseminación en suministros de agua, hasta la fecha.

Los virus del grupo Adeno, generalmente, causan enfermedades del tracto respiratorio o los ojos; aunque no se ha comprobado su diseminación en suministros de agua, sí han existido algunas pruebas de diseminación en piscinas. Tanto los virus Echo como los Coxsackie deben también considerarse como agentes potenciales de enfermedades transmisibles por el agua. Los virus del polio causan poliomielitis parálitica y meningitis aséptica; los virus Coxsackie producen herpangina, meningitis aséptica, parálisis pleurodinia y miocarditis infantil aguda; los virus Echo originan meningitis, fiebre y erupciones, diarrea y enfermedades respiratorias. Los virus no se pueden cultivar en medios artificiales en el laboratorio como se hace con las bacterias, pues deben desarrollarse sobre células vivas y su estudio requiere técnicas especializadas. La tabla 1.2 resume las principales enfermedades de origen hídrico.

Tabla 1.2 Enfermedades transmisibles por el agua.

Enfermedad	Organismo causante	Fuente del organismo en el agua	Síntoma
Gastroenteritis	Salmonella	Excrementos humanos o de animales	Diarrea aguda y vómito
Tifoidea	Salmonella typhosa	Excrementos humanos	Intestino inflamado, bazo agrandado, alta temperatura
Disenteria	Shigella	Excrementos humanos	Diarrea
Cólera	Vibro comma	Excrementos humanos	Vómito, diarrea severa
Hepatitis infecciosa	Virus	Excrementos humanos, mariscos	Piel amarilla, dolores
Amibiasis	Entamoeba hystolitica	Excrementos humanos	Diarrea, disenteria crónica
Giardiasis	Giardia lamblia	Excrementos humanos y animales	Diarrea, retortijones

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. El examen bacteriológico de abastecimientos de agua no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos. El ensayo se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con las de alcantarillado son peligrosas. Por consiguiente, el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para

determinar la presencia de contaminación fecal. Este tipo de contaminación en el agua es la más común y la más fácil de remediar. A pesar de que se tienen medios de desinfección muy efectivos como es por ejemplo la adición de cloro al agua, o sea la cloración, este tipo de contaminación es la que causa más víctimas en los consumidores.

Este tipo de contaminación es muy poco probable que ocurra en lugares y ciudades grandes, donde existe un organismo que se encarga de controlar y monitorear diariamente la calidad de agua que llega a los consumidores, sin embargo, en comunidades rurales donde no se tiene este control se presenta en mayores dimensiones este problema.

c) Análisis químicos del agua

Alcalinidad: La alcalinidad de un agua puede definirse como:

- Capacidad para neutralizar ácidos,
- Capacidad para reaccionar con iones hidrógeno,
- Capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH).

La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento y control de corrosión. En la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados de hidróxidos insolubles. Los iones H⁺ originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por lo tanto, la alcalinidad actúa como buffer (acción de mantener, prácticamente, un pH invariable cuando se añaden a la solución pequeñas cantidades de ácido o de base) del agua en un intervalo de pH en que el coagulante puede ser efectivo. Por consiguiente, para que ocurra una coagulación completa y efectiva, es necesario un exceso de alcalinidad. En el ablandamiento del agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio necesarias para el proceso.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse.

Sales disueltas o sólidos disueltos: Las sales disueltas son los componentes que pasan al agua cuando ésta se pone en contacto con los yacimientos minerales del río, lago, pozo o acuífero donde se encuentra el agua. Consisten en componentes como sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sulfatos, etc., y que como ya mencionamos son los que dan sabor y hacen agradable el agua. Estas sales disueltas no se

pueden percibir a simple vista ya que se encuentran completamente integrados al agua y sólo se nos hace evidente su presencia cuando evaporamos completamente el agua y observamos un residuo de sales que originalmente se encontraban en solución.

La presencia de estas sales no es objetable ni tiene efectos adversos en la salud, aunque cuando la concentración de estas sales es muy alta, el agua puede ser desagradable para algunas personas que no están acostumbrados a consumir este tipo de agua, por lo que es recomendable darle tratamiento si los niveles de concentración son mayores a los recomendados.

Aunque la alta concentración de sales no tiene efectos en la salud, sí la hace inapropiada para algunos fines, por ejemplo: la alta concentración de sales causa que los equipos de aire se ensucien más pronto ya que al evaporarse el agua dejan gran cantidad de sales en el excelsior o zacate.

También ensucian y forman precipitados de sales en utensilios de cocina, cafeteras, y si los niveles de sales son demasiado altos se da el caso de que el agua no es apropiada para cocinar, ya que por ejemplo los frijoles, las habas y las lentejas no se cuecen bien y se forman natas de sales en las sopas y preparaciones de alimentos, por lo que cuando esto ocurre debe darse tratamiento al agua, no por los efectos en la salud, sino por lo problemático del agua y por las molestias e incomodidades que esto causa.

El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad de ella, dependerá de número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continua hasta que la solución esta llena de iones que restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad. (ver tabla 1.3), en esta tabla todos los valores de conductividad están referidos a una temperatura de 25 °C.

Tabla 1.3 Valores de conductividad de algunas muestras típicas.

Muestra	Conductividad, $\mu\text{S/cm}$
Agua ultra pura	0.05
Agua de alimentación a calderas	1 a 5
Agua potable	50 a 100
Agua de mar	53,000
5 % NaOH	223,000
50 % NaOH	150,000
10 % HCl	700,000
32 % de HCl	700,000
31 % HNO_3	865,000

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por lo mismo

conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tienen su curva característica de concentración contra conductividad.

Son buenos conductores: los ácidos, bases y sales inorgánicas: HCl, NaOH, NaCl, Na₂CO₃, etc.

Son malos conductores: Las moléculas de sustancias orgánicas que por naturaleza de sus enlaces son no iónicas, como la sacarosa, el benceno, los hidrocarburos, los carbohidratos, etc. estas sustancias no se ionizan en el agua y por lo tanto no conducen la corriente eléctrica.

Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad.

Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada °C. Conociendo estos factores, la medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas.

Dureza del agua: La dureza del agua se manifiesta de manera similar a como ocurre con las sales minerales. Se forman precipitados e incrustaciones en los materiales que tienen contacto con el agua, como tuberías, calentadores de agua, baños y regaderas, etc.

La dureza se debe a la concentración alta de sales de calcio y de magnesio en el agua y ya se ha determinado concluyentemente que no tiene efectos positivos o negativos en la salud, pero causa daños y perjuicios en equipos industriales como calderas y equipos de enfriamiento, y causa incomodidad en el uso doméstico ya que el exceso de dureza consume altas cantidades de jabón, evita que el jabón haga espuma y forma sarro e incrustaciones en calentadores de agua y tuberías, provocando en casos extremos que la tubería se deba cambiar periódicamente ya que se llega a obstruir completamente por la formación de sarro.

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto y en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales es calentada. El valor de la dureza determina, por lo tanto, su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. El tipo de ablandamiento por usar y su control dependen de la adecuada determinación de la magnitud y clase de dureza.

En calderas y sistemas de enfriamiento por agua, se producen incrustaciones en la tubería y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor, además le da un sabor indeseable al agua potable, la dureza debe de ser removida, antes de que el agua tenga un uso apropiado para bebidas, lavanderías, acabados metálicos, teñido y textiles.

La dureza es caracterizada comúnmente por el contenido de calcio y magnesio y expresada como carbonato de calcio equivalente. Existen dos tipos de dureza:

Dureza Temporal: Esta determinada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación de precipitados formados por filtración, también se le conoce como "Dureza de Carbonatos".

Dureza Permanente: Está determinada por todas las sales de calcio y magnesio excepto carbonatos y bicarbonatos. No se puede eliminar por ebullición del agua y también se le conoce como "Dureza de no Carbonatos". La dureza no carbonatada incluye principalmente sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. La evaporación de aguas que contienen estos iones produce la cristalización de compuestos como el sulfato de calcio, que forman una incrustación dura y frágil en las paredes y tubos de calderas y calentadores. La incrustación produce una pérdida en la conductividad del calor y da como resultado un mayor consumo de combustible por libra de vapor obtenido. Además, la producción súbita de grandes volúmenes de vapor, cuando las incrustaciones gruesas se rompen y el agua entra en contacto con las superficies de metal recalentado, puede ocasionar explosiones.

Interpretación de la Dureza:

<u>Dureza como CaCO₃</u>	<u>Interpretación</u>
0-75	agua suave
75-150	agua poco dura
150-300	agua dura
> 300	agua muy dura

En agua potable el límite máximo permisible es de 500 mg/L de dureza¹.

Metales tóxicos: Cuando en el acuífero se tiene la presencia de mantos minerales que contienen metales como plomo, hierro, arsénico, cobre, zinc, etc., estos metales también pueden ser disueltos y se integran al agua que originalmente no los tenía.

Algunos de ellos son problemáticos si su concentración excede de ciertos límites, pero otros son dañinos y son potenciales agentes tóxicos que causan enfermedades en los seres vivos. Entre estos elementos se encuentran metales como plomo, arsénico, cadmio, mercurio, selenio y cromo, entre otros.

Cuando las concentraciones de éstos y otros tóxicos sobrepasan ciertos límites, el agua puede emplearse en usos diversos como es para limpieza y aseo personal, para lavado de ropa y utensilios de cocina, para riego, etc., pero como no cumple con las características que dicta la norma de calidad de agua potable, debe tener un tratamiento previo que disminuya la concentración de estos elementos antes de su consumo como agua de beber.

Fierro y Manganeso: Estos dos elementos se integran al agua por disolución cuando el agua está en contacto con el yacimiento mineral, y si éste contiene altas cantidades de fierro y manganeso es muy probable que estos dos se presenten en el agua del yacimiento.

El fierro y el manganeso no causan toxicidad ni daño en la salud, pero sí son muy problemáticos y molestos. Estos dos metales generalmente se presentan en forma conjunta y no se manifiestan cuando el agua sale del acuífero, pero la oxidación causa que el fierro y

el manganeso cambien en sus propiedades químicas y esto se manifiesta con la aparición de un precipitado rojizo que es el hidróxido de hierro.

Donde existe este problema es típica la aparición de un precipitado lamoso negruzco en la tina del excusado que causa preocupación y consternación en los propietarios, sobre todo si esa misma agua es la que consumen como agua potable, pero insistimos en que el hierro y el manganeso no son nocivos a la salud.

Otra cualidad del hierro y el manganeso es la formación de precipitados de estos metales y que también causan el manchado o veteado de la ropa blanca.

Otros compuestos: Existen otros compuestos que también se presentan en las aguas naturales y que son de importancia por sus efectos nocivos en la salud.

Fluor: El flúor es un elemento químico que al igual que los cloruros, los bicarbonatos o los sulfatos se puede presentar en las aguas naturales, sólo que a diferencia de éstos, tiene efectos nocivos en la salud.

Los efectos evidentes del consumo excesivo de flúor son el manchado de los dientes. Si un niño desde que nace empieza a consumir agua con alto contenido de flúor, el flúor se integra a sus huesos en formación y las primeras evidencias del consumo excesivo de flúor son el manchado o moteado de los dientes

En criterio de los dentistas el flúor es un agente que endurece los dientes y los hace más resistentes, y por esta razón el flúor se agrega deliberadamente a las pastas dentales. Esto es cierto en las personas que han consumido durante años agua con alto contenido de flúor, sus dientes son más resistentes, pero pagando en precio una completa dentadura color café marrón.

No es únicamente el factor estético el inconveniente del alto consumo de flúor: si los niveles de flúor en el agua son demasiado altos y si una persona consume esta agua durante varios años de su vida, en la edad madura es posible que se le presente un problema que médicamente es llamado fluorosis esquelética o osteoesclerosis, y que se manifiesta en daños en esqueleto y huesos ya que causa deformaciones en éstos, enfermedad difícil y penosa y que en algunas zonas donde se ha detectado un alto nivel de flúor en el agua que se consume esta enfermedad es una plaga.

Nitratos: Los nitratos son una manifestación de la contaminación química causada por causas antropogénicas (generadas por el hombre). Los altos niveles de nitratos que se presentan en algunas fuentes de abastecimiento de agua potable se deben principalmente a la acción del hombre.

El exceso de fertilizantes nitrogenados (nitrato de amonio, por ejemplo) que se emplean en la agricultura, origina la contaminación del yacimiento, ya que la planta toma sólo una parte del fertilizante empleado y el resto se infiltra a través de las diferentes capas de suelo hasta el acuífero.

Cuando el agua llega al consumidor estos nitratos pueden causar metahemoglobinemia en el usuario. La metahemoglobinemia es el nombre de una

enfermedad provocada en la sangre ya que los nitratos en ciertas condiciones pueden ser químicamente reducidos a nitritos, los cuales pueden sustituir el oxígeno en la molécula de hemoglobina, causando la muerte por falta de oxigenación en la sangre.

Este fenómeno de sustitución de oxígeno por nitritos en la hemoglobina es más probable en infantes, por lo que se tiene un nivel máximo permitido en aguas potables ya que se ha detectado que hay una alta relación de altos niveles de nitratos en el agua de consumo, con la muerte de cuna o síndrome del niño azul.

pH: El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la cual en el medio, es decir 7 la sustancia es neutra. los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indica que es básica. El nivel de pH tiene un efecto en muchas fases del proceso de tratamiento de las aguas y afecta a la formación de costras de las fuentes de agua.

La acidez de un agua puede definirse como:

- Capacidad para neutralizar bases,
- Capacidad para reaccionar con iones hidróxilo
- Capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas.

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión.

El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el CO_2 , especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral.

El contenido de CO_2 es, también, un factor muy importante para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras. En aguas naturales la acidez puede ser producida por el CO_2 , por la presencia de iones H^+ libres, por la presencia de acidez mineral proveniente de ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico, etc., y por la hidrólisis de sales de ácido fuerte y base débil.

La causa más común de acidez en aguas es el CO_2 , el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico.

1.3. NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA POTABLE

“El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es indispensable para la prevención de la transmisión de enfermedades gastrointestinales y

otras, esto lleva a la necesidad de establecer límites permisibles en cuanto a sus características físicas, organolépticas y químicas¹.

Teniendo en cuenta que el control de la calidad del agua es la clave para reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por este medio, las instituciones de salud y de abastecimiento de agua han asumido la responsabilidad de establecer normas de calidad apropiadas.

Los criterios de calidad representan el nivel (concentración o cantidad) de un componente que garantiza que el agua será agradable para los sentidos y no causará riesgo significativo alguno para la salud del consumidor. La calidad de agua definida por los valores guía es tal que resulta adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluyendo la higiene personal. Cuando se sobrepasa un valor guía debe investigarse la causa para poder proponer una solución adecuada.

La normatividad es fijada por cada país que hace su propia selección de parámetros y fija sus propias normas, para esto es necesario tomar en cuenta una variedad de condiciones geográficas, socioeconómicas, industriales y de hábitos alimentarios. Se debe poner énfasis en primer lugar en la seguridad microbiológica de los abastecimientos de agua potable, seguida de los parámetros físico-químicos donde se considera que son pocos los que tienen relevancia general.

En México la Secretaría de Salud ha establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1997, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización¹".

Para realizar un diagnóstico más completo de la calidad del agua de las diversas fuentes que abastecen al Sistema Hidráulico del Distrito Federal (manantiales y pozos principalmente), la D.G.C.O.H. Dependencia gubernamental encargada de la vigilancia de la calidad del agua de estas fuentes considera algunos parámetros no incluidos en la norma, para los cuales establecen valores guía para sus concentraciones máximas.

La tabla 1.4 muestra los valores de los parámetros incluidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización¹.

La tabla 1.5 son los valores guía que la D.G.C.O.H. ha establecido como criterios para el control de la calidad del agua.

Tabla 1.4 Valores de límites permisibles

Características Biológicas	Unidades	Valor de la Norma
Organismos conformes totales	NMP/100 ml/UFC/100 ml	2 / 2
Organismos conformes fecales	NMP/100 ml/UFC/100 ml	No detectable/cero
Características físicas y organolépticas	Unidades	Valor de la Norma
Color	Unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto	20
Olor y Sabor	-----	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	5
Características químicas	Unidades	Valor de la Norma
Aluminio	mg/l	0.20
Arsénico	mg/l	0.05
Bario	mg/l	0.70
Cadmio	mg/l	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	mg/l	0.07
Cloro residual libre	mg/l	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	250.00
Cobre	mg/l	2.00
Cromo total	mg/l	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	mg/l	500.00
Fenoles compuestos o fenolitos	mg/l	0.001
Fierro	mg/l	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	mg/l	1.50
Manganeso	mg/l	0.15
Mercurio	mg/l	0.001
Nitratos (Como N)	mg/l	10.00
Nitritos (como N)	mg/l	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/l	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	-----	6.5-8.5
Plaguicidas Aldrin y	microgramos/l	0.03

Dieldrin (juntos combinados)	o	
Clordano	Total de isómeros	0.30
DDT	Total de isómeros	1.00
Gamma-HCH (lindano)	mg/l	2.00
Hexaclorobenceno	mg/l	0.01
Heptaclorobenceno epóxido de heptacloro	y mg/l	0.03
Metoxicloro	mg/l	20.00
2,4-D	mg/l	50.00
Plomo	mg/l	0.025
Sodio	mg/l	200.00
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	0.50
Trihalometanos totales	mg/l	0.20
zinc	mg/l	5.00
Características Radiactivas	Unidades	Valor de la Norma
Radiactividad alfa global	Bequerel/litro	0.10
Radiactividad beta global	Bequerel/litro	1.00

Tabla 1.5 Valores de límites permisibles establecidos por la D.G.C.O.H.

Característica	Unidades	Criterio
Conductividad	mg/l	1500.00
Alcalinidad total	mg/l	400.00
OCMA	mg/l	3.00
DQO Soluble	mg/l	4.00
Fluoruros (como F)	mg/l	50.00
Nitrógeno proteico	mg/l	0.10
Potasio	mg/l	100.00

1.4 INFORMACION BASICA DEL POZO

El predio donde se localiza el pozo se encuentra ubicado en la glorieta formada por las calles, Mineros Metalúrgicos, Fundidores y la Calle 16, en la colonia Trabajadores del Hierro, Delegación Azcapotzalco (ver plano de localización A-1300). Este predio tiene forma de semicírculo con un área superficial de 500 m², cuenta con dos accesos y una construcción de 28 m², en la que se aloja el cuarto de control de colores. y las oficinas.

El “muro” perimetral esta formado en su mayoría por tubular (herrería), con traves de concreto de 20 x 20 cm colocadas a cada 3m de distancia y protegido en todo el perímetro (excepto los accesos) con concertina.

En las instalaciones se encuentra una bomba de pozo sumergible con una línea de descarga de 12” de diámetro. Los nuevos pozos perforados por la D.G.C.O.H. tienen la característica de dar un gasto de 60 L/seg, lo que hace suponer que este pozo tiene el mismo gasto. La acometida eléctrica a las instalaciones es a través de un transformador de 1125.0 KVA

Por la ubicación del predio el acceso para equipo y personal de mantenimiento al pozo y por ende a la planta potabilizadora, no representa problema alguno.

1.5 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POZO

El agua que se extrae del subsuelo contiene por lo general una gran variedad de sólidos disueltos y algunos gases, además de materia suspendida. La cantidad y calidad de estos constituyentes en el agua, esta en función de la geología del terreno y de los factores del medio ambiente.

Para poder evaluar la calidad del agua, se recomienda que se efectúen a esta diversos análisis en donde se deben incluir análisis físicos, químicos y bacteriológicos, y en base a los resultados de estas pruebas y la comparación con valores establecidos por las normas y criterios de calidad, realizar un diagnóstico confiable de calidad.

El pozo “Trabajadores del Hierro” se encuentra dentro de un programa de monitoreo constante a la calidad del agua de pozos en el Distrito Federal, realizándose visitas periódicas al pozo para tomar muestras para posteriormente ser analizadas. La tabla 1.4.1 muestra el resultado de estos análisis comparándolos con los valores de concentraciones permisibles que dicta la Norma Oficial Mexicana¹, la tabla 1.6 es también una comparación de resultados de análisis con los criterios establecidos para evaluar la calidad del agua potable en el D.F.

Tabla 1.6 Comparación de valores de concentraciones encontradas en el agua de pozo, con los valores de la Norma Oficial Mexicana (Fuente: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica/Subdirección de Desarrollo Tecnológico)

Características	Unidades	Valor de la Norma	Pozo
Características Biológicas			
Organismos coliformes totales	NMP/100 ml/UFC/100 ml	2 / 2	32
Organismos coliformes fecales	NMP/100 ml/UFC/100 ml	No detectable/cero	0
Características Físicas y Organolépticas	Unidades	Valor de la Norma	
Color	Unidades de	20	30

	color verdadero en la escala platino-cobalto		
Olor y Sabor	----- -----	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)	----- -----
Turbiedad	Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	5	4.9
Características Químicas	Unidades	Valor de la Norma	
Aluminio	mg/l	0.20	-----
Arsénico	mg/l	0.05	<0.00114
Bario	mg/l	0.70	-----
Cadmio	mg/l	0.005	-----
Cianuros (como CN ⁻)	mg/l	0.07	-----
Cloro residual libre	mg/l	0.2-1.50	-----
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	250.00	28.30
Cobre	mg/l	2.00	<0.26
Cromo total	mg/l	0.05	-----
Dureza total (como CaCO ₃)	mg/l	500.00	196
Fenoles compuestos o fenolitos	mg/l	0.001	-----
Fierro	mg/l	0.30	0.06
Fluoruros (como F ⁻)	mg/l	1.50	-----
Manganeso	mg/l	0.15	0.214
Mercurio	mg/l	0.001	<0.00017
Nitratos (Como N)	mg/l	10.00	0.46
Nitritos (como N)	mg/l	0.05	<0.011
Nitrógeno amoniacal (como N)	mg/l	0.50	<0.01
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	----- -----	6.5-8.5	7.60
Plaguicidas Aldrin y Dieldrin (juntos o combinados)	microgramo s/l	0.03	-----
Clordano	Total de	0.30	-----

	isomeros		
DDT	Total de isomeros	1.00	-----
Gamma-HCH (lindano)	mg/l	2.00	-----
Hexaclorobenceno	mg/l	0.01	-----
Heptaclorobenceno y epóxido de heptacloro	mg/l	0.03	-----
Metoxicloro	mg/l	20.00	-----
2,4-D	mg/l	50.00	-----
Plomo	mg/l	0.025	0.019
Sodio	mg/l	200.00	37
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000.00	540
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	400.00	17.22
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/l	0.50	-----
Trihalometanos totales	mg/l	0.20	-----
zinc	mg/l	5.00	0.002
Características Radiactivas	Unidades	Valor de la Norma	
Radiactividad alfa global	Bequerel/litro	0.10	-----
Radiactividad beta global	Bequerel/litro	1.00	-----

Tabla 1.7 Comparación de valores de concentraciones encontradas en el pozo, con criterios de calidad establecidos.

Características	Unidades	Criterio	Pozo
Conductividad	mg/l	1500.00	566
Alcalinidad total	mg/l	400.00	254
OCMA	mg/l	3.00	0.6
DQO Soluble	mg/l	4.00	-----
Fluoruros (como F)	mg/l	50.00	<0.10
Nitrógeno proteico	mg/l	0.10	0.10
Potasio	mg/l	100.00	53

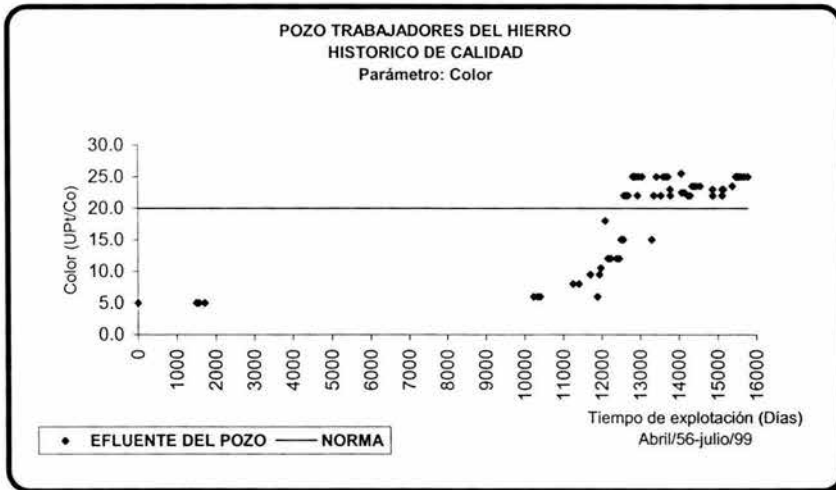
Los resultados anteriores muestran que los principales problemas de calidad del agua de este pozo son principalmente en cuanto a la concentración de color, coliformes totales, Fe, Mn, Nitrógeno proteico así como en Cuenta Estándar.

Para una mejor apreciación de la calidad del agua efluente del pozo se graficaron los resultados de laboratorio. A continuación se muestran gráficas de los parámetros más representativos, se seleccionaron estos parámetros por tener influencia en los valores de otros parámetros.

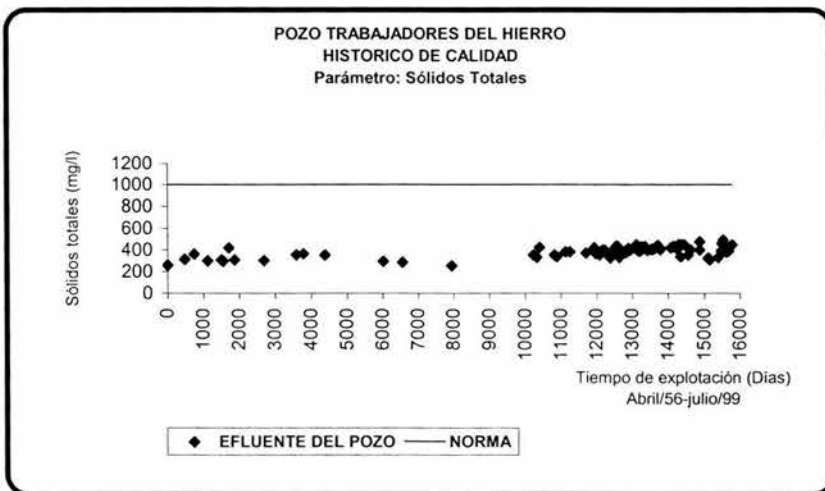
Los resultados de calidad representados en las gráficas corresponden al periodo de Abril de 1956 al 14 de Julio de 1999. El intervalo sin valores que se observa en cada una de

las gráficas corresponde al periodo de Abril de 1968 a Agosto de 1984, periodo del cual no se tienen reportados estos valores¹⁵.

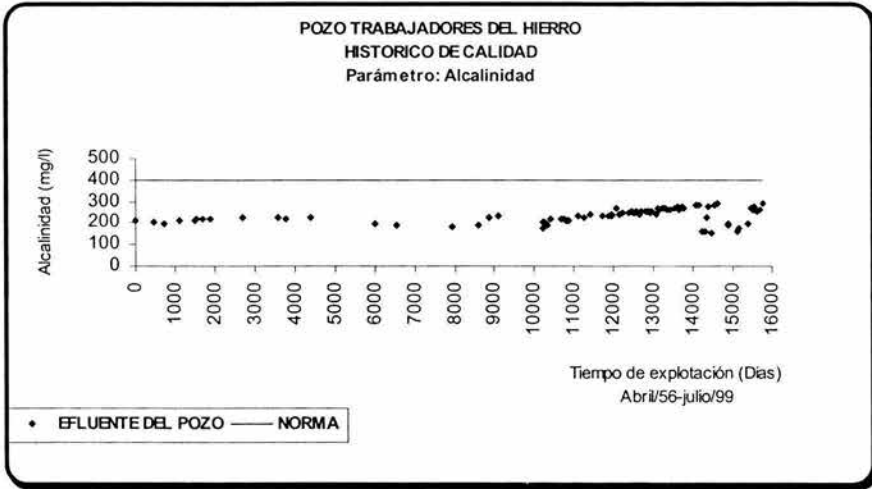
Gráfica 1.1 Comportamiento del color en el efluente del pozo



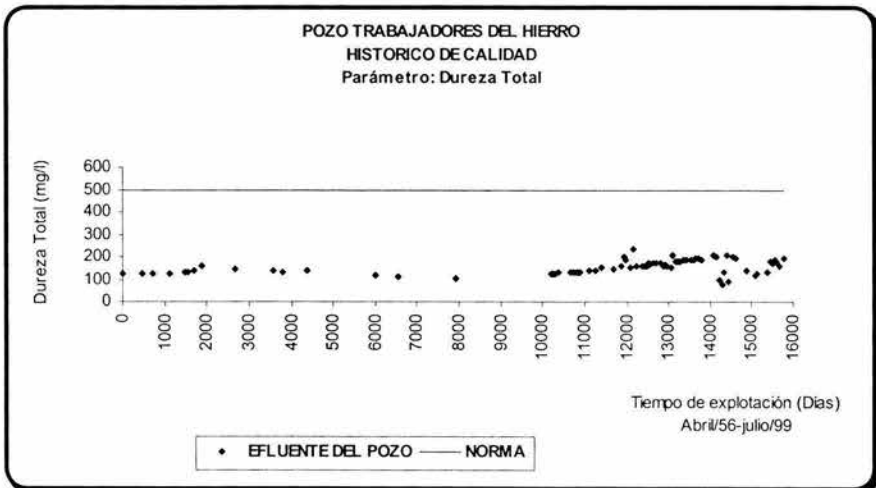
Gráfica 1.2 Comportamiento sólidos totales en el efluente del pozo



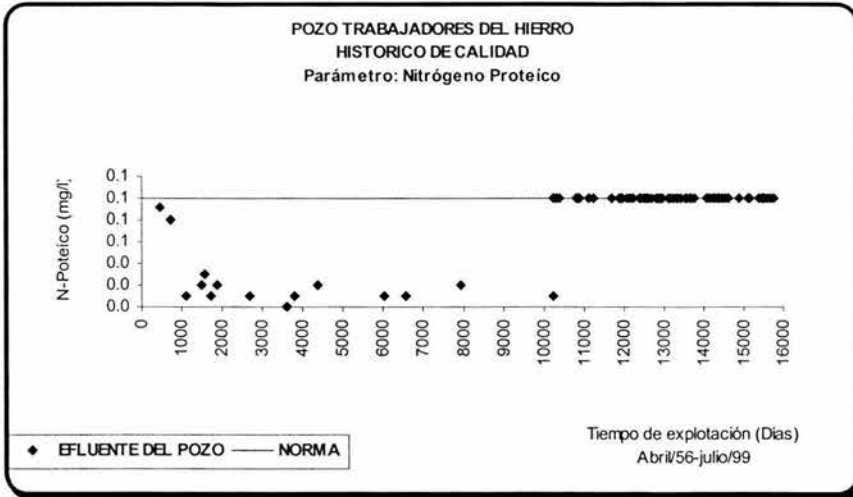
Grafica 1.3 Comportamiento de Alcalinidad en el efluente del pozo



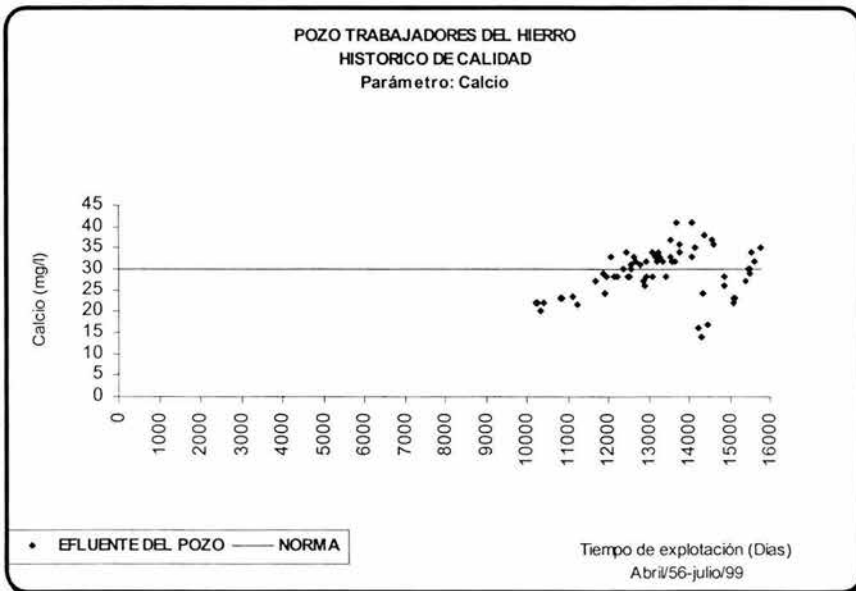
Grafica 1.4 Comportamiento de Dureza total en el efluente del pozo



Grafica 1.5 Comportamiento de Nitrógeno proteico en el efluente del pozo



Grafica 1.6 Comportamiento de Calcio en el efluente del pozo



Gráfica 1.7 Comportamiento de Manganeso en el efluente del pozo

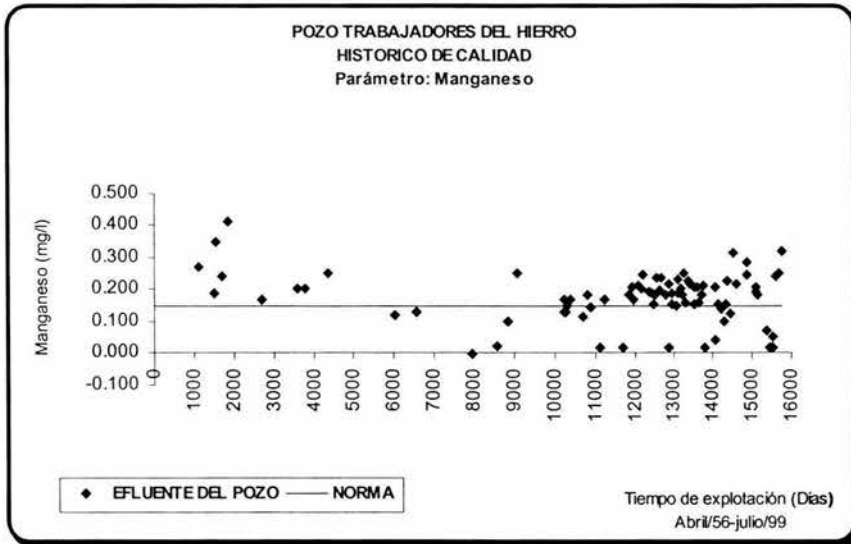


Gráfico 1.1 El color en el efluente del pozo puede deberse a la presencia de sustancias orgánicas coloreadas, por lo general húmicas y a la presencia de metales como el Hierro y Manganeso, estos metales pueden dar al agua una coloración rojiza y negra respectivamente. Como se observa en la gráfica, el color ha rebasado la concentración máxima permisible esto está estrechamente relacionado con la concentración elevada de manganeso que presenta el efluente. La importancia del color en el agua potable, se reduce a aspectos meramente estéticos.

Gráfico 1.2 El total de sólidos disueltos en el agua comprende sales orgánicas y pequeñas cantidades de sales inorgánicas. Las principales sales que contribuyen a la concentración de este parámetro son entre otros carbonatos, bicarbonatos, sodio, potasio, Calcio y magnesio. El total de sólidos disueltos influye en otras características, como sabor, dureza, propiedades de corrosión e incrustación. En la gráfica correspondiente al comportamiento de este parámetro se observa que además de encontrarse muy por debajo del valor establecido por la norma, el comportamiento de este parámetro ha sido constante y sin tendencia a aumentar.

Gráfico 1.3 La alcalinidad es otro parámetro que debe de ser tomado en consideración para evaluar la calidad de un agua, la Alcalinidad es debida principalmente a la presencia de carbonatos y bicarbonatos, se encuentra muy ligada a la Dureza. Cuando la alcalinidad se debe a la presencia de carbonatos y/o bicarbonatos, su valor generalmente se aproxima al de la dureza. Como se observa en el gráfico, la dureza ha ido aumentando gradualmente, sin sobrepasar los límites establecidos, pero con tendencia a aumentar.

Gráfico 1.4 La dureza total es la suma de la dureza de Calcio y la dureza de Magnesio, los resultados de calidad del agua permiten ver que el incremento de concentración de Magnesio no es considerable, y que el valor máximo se encuentra muy por debajo del criterio y que aunque el Calcio se encuentra por arriba del valor establecido por la norma, el comportamiento de la dureza total permanece sin variaciones considerables.

Gráfico 1.5 El nitrógeno Proteico es otro de los parámetros que se consideran como críticos por no encontrarse dentro del valor establecido por el criterio (el criterio establecido es de 0.10 mg/l como concentración máxima), como se aprecia en la gráfica la concentración de este parámetro se encuentra en el límite máximo que establece el criterio.

Gráfico 1.6 Calcio: La presencia de estas sales no es objetable ni tiene efectos adversos en la salud, aunque cuando la concentración de estas sales es muy alta, el agua puede ser desagradable para algunas personas que no están acostumbrados a consumir este tipo de agua, por lo que es recomendable darle tratamiento si los niveles de concentración son mayores a los recomendados. El Calcio, no es un parámetro que se encuentre normado y su presencia en el agua influente se debe al paso de esta a través de depósitos de piedra caliza, a las aguas con alto contenido de calcio se les da el nombre de aguas duras. El valor que se toma como referencia de calidad es el criterio establecido por la D.G.C.O.H. de 30 mg/l, pero este Ion tiene influencia directa en otro parámetro que si se encuentra regulado por la Norma, la Dureza Total.

Gráfico 1.7 Otro parámetro que en la actualidad se encuentra fuera de norma y con tendencia a aumentar es el Manganeseo, este es un metal que se encuentra ampliamente en minerales y rocas y debido a las condiciones anaerobias del subsuelo aparece siempre en el agua de pozo en su forma soluble. La presencia de Manganeseo en las fuentes de abastecimiento de agua potable es objetable por razones que no guardan relación directa con la salud. Cuando las concentraciones exceden 0.15 mg/l, el Manganeseo imparte un sabor muy desagradable a las bebidas y mancha las prendas de vestir, al oxidarse los compuestos manganosos el Manganeseo se precipita y esto origina problemas de incrustación.

Por último en los resultados de calidad del agua de pozo se detecta que las características bacteriológicas de esta, exceden los valores máximos permitidos por la norma. Uno de los riesgos más difundidos en cuanto a agua potable se refiere, es el de su posible contaminación. Si dicha contaminación es reciente y entre los factores que contribuyeron a ella se encuentran agentes portadores de enfermedades, la posibilidad de que en ella se encuentren presentes algunos microorganismos vivos causales de las mismas, es alta. Beber agua así contaminada o emplearla para la preparación de alimentos o el aseo personal, puede producir un gran número de casos de infección.

La tabla 1.8, es un resumen la problemática de calidad del pozo “Trabajadores del Hierro”.

Tabla 1.8 Resumen de problemática de calidad del agua del pozo.

Característica	Unidades	Criterio	Pozo
Color	Unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto	20	30
Calcio	mg/l	30	45
Manganeso	mg/l	0.15	0.60
Nitrógeno proteico	mg/l	0.10	0.10
Organismos coliformes totales	NMP/100 ml	2	32

La definición de un tren de procesos para potabilizar esta agua se hará basándose en estos contaminantes y al análisis de los procesos que existen para la remoción de cada uno de ellos.

CAPÍTULO 2.- DEFINICION DEL TREN DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS



2.1 PROCESOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

En función de la fuente de abastecimiento, algunas aguas pueden ser naturalmente potables y otras pueden necesitar un tratamiento de potabilización previo al consumo humano.

Las aguas provenientes de fuentes subterráneas profundas, galerías filtrantes o manantiales, no pueden ser entregadas directamente al consumo, estas tienen que ser químicamente apropiadas y se tiene que tomar en cuenta todas las previsiones necesarias en su distribución para evitar su contaminación.

Cuando el agua no es naturalmente potable habrá que hacer un tratamiento como sucede con las aguas superficiales. El tratamiento para la potabilización del agua se puede dividir en tres principales tipos:

1. Procesos físicos
2. Procesos químicos
3. Procesos microbiológicos

2.1.1 PROCESOS FÍSICOS

2.1.1.1 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Cuando el agua a tratar contiene partículas muy finas ó en estado coloidal, el empleo de la sedimentación simple resulta antieconómico ó imposible. (Permanencias mayores de 6 horas no son económicas). Como ejemplo podemos mencionar que una partícula de arcilla de diámetro 0.0001 m sedimenta con una velocidad de 0.000154 mm/seg y tardaría 2 años en sedimentar 1 m.

En estos casos para la eliminación de la turbiedad se recurre al agregado de un producto químico, dando lugar a un proceso que se llama coagulación-floculación por el cual las partículas coloidales se aglutinan en pequeños flocs, de mayor peso que puedan sedimentar con mayor facilidad. Este proceso se usa para:

Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar con rapidez

Remoción de color

Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación

Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor

Los términos coagulación y floculación son frecuentemente usados como sinónimos, significando ambos el proceso de aglomeración de partículas. En realidad, ambos términos tienen distinto significado. Se denomina coagulación al proceso de adicionar los productos químicos al agua (coagulantes) para reducir ó anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en

suspensión. En cambio, floculación es la aglomeración de las partículas por efecto de un movimiento lento del agua, de formar partículas de mayor tamaño (flocs) que puedan sedimentar por gravedad.

Coagulación: Las aguas superficiales al escurrir por el terreno disuelven sales. Estas sales se ionizan como se muestra en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Ionización de las sales

Aniones	Cationes
Cl ⁻	Na ⁺
SO ₄ ²⁻	K ⁺
HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺
NO ₃ ⁻	Ca ²⁺
PO ₄ ²⁻	Fe ³⁺

Las partículas coloidales tienen un gran poder de absorción, absorbiendo iones del medio circundante (Es una propiedad características de los coloides) dando como consecuencia partículas cargadas eléctricamente. Las partículas coloidales que producen la turbidez y color de las agua superficiales están cargadas negativamente, pudiéndose representar dicha partícula como una esfera con cargas negativas rodeadas por una capa constituida por iones positivos que se mueven solidariamente con la partícula, por la cual se la denomina capa fija y una capa difusa de iones positivos y negativos.

La carga eléctrica de la partícula genera las siguientes diferencias de potencial entre las partículas y el seno del liquido.

Potencial de Nerst: Diferencia de potencial entre la pared de la partícula y el seno del liquido.

Potencial Zeta: Diferencia de potencial entre la superficie externa de la capa fija y el seno del liquido. El valor del potencial Z determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas. En consecuencia se puede decir que las fuerzas que actúan sobre un coloide son:

- Fuerza electrocinética o de repulsión: Las derivadas del potencial Zeta o de repulsión
- Fuerzas debidas a la atracción de las masas o Van der Waal.
- Fuerzas debidas a la energía cinética del movimiento Browniano

Las dos primeras son las más importantes y de mayor valor. Las fuerzas de Van der. Waal producen la inestabilidad de la dispersión coloidal y las fuerzas electrocinéticas la estabilidad de la misma. La desestabilización de la dispersión coloidal por medio de la reducción del potencial Zeta tiene por finalidad que las fuerzas de repulsión sean menores que las fuerzas de atracción de las masas. Esto se logra mediante la adicción de partículas coloidales de signo opuesto proporcionadas por sustancias químicas llamadas coagulantes siendo los más comunes el sulfato de aluminio(Al₂ (SO₄)₃), sulfato ferroso (FeSO₄), cloruro ferrico (Fe Cl₃), y también por el agregado de poli electrólitos o ayudantes de coagulación. Estos últimos pueden ser naturales o sintéticos.

El proceso de coagulación-floculación se realizan en una planta de potabilización en tres procesos separados:

1. Adición de los coagulantes
2. Dispersión de los coagulantes
3. Aglutinación o aglomeración de partículas

1.- Adición de los coagulantes: Los coagulantes metálicos sulfato de aluminio o sulfato ferroso deben aplicarse en solución

Se producen principalmente las reacciones entre el sulfato de aluminio y el bicarbonato de calcio y la reacción entre el sulfato de aluminio y la cal.

Al producirse estas reacciones los hidróxidos de aluminio formados (que son insolubles) precipitan, formando una masa esponjosa, llamada "Floc de barrido", esta masa atrapa en su caída a los coloides o partículas suspendidas, las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas dentro del precipitado que desciende.

Esta forma de remoción de la turbiedad, llamada coagulación por barrido, es la que más frecuente se presenta en la planta, ya que en la práctica las dosis que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio.

En general, la coagulación se efectúa fundamentalmente por los procesos de neutralización (reducción del potencial z) y por barrido.

Existen aguas que no poseen la alcalinidad necesaria, lo que trae aparejado la formación de un coágulo o floc pequeño que sedimenta con mucha dificultad. En general se requiere 1 mg/L de alcalinidad expresada como CO_3^{2-} , por cada 2 mg/L de sulfato de aluminio con 17% de óxidos útiles (O_3Al_2). En estos casos se hace necesario el agregado de sustancias que eleven la alcalinidad del agua natural.

Para la determinación de la dosis óptima de coagulante a utilizar en la planta de potabilización, se puede realizar 2 tipos de ensayos diferentes. El objetivo de estos ensayos es poder determinar la dosis que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales y la que hace que se forme un floc pesado y compacto que sedimente fácilmente.

2.- Dispersión del coagulante: Existen básicamente dos tipos de coagulación, la de absorción-neutralización, en la cual los iones de Al^{+++} neutralizan las cargas de partículas (reducción de potencial z) y la de barrido, que se produce cuando hay precipitación de los hidróxidos de aluminio por sobresaturación de coagulante que atrapa e incorpora a los coloides en esta precipitación. La primera dura como máximo 1 segundo y la segunda se completa de 1 a 10 segundos.

Resulta necesario dispersar el coagulante en la masa de agua en el menor tiempo posible, para lo cual es necesario efectuar una agitación violenta.

Los dispersores se clasifican en dos grupos: de acción hidráulica y de acción mecánica. Los de acción hidráulica pueden ser:

Ingeniería Básica de Proceso para la Planta Potabilizadora "Trabajadores del Hierro"

- a) canaleta Parshall
- b) vertederos
- c) cámaras de pantalla o chicanas

Los dispersores mecánicos pueden ser principalmente agitadores.

3.- Aglomeración de partículas – Floculación: Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es producido por el contacto entre partículas debido al gradiente de velocidad. Tres características esenciales definen la floculación.

- a) La forma de producir la agitación
- b) El gradiente de velocidad
- c) El tiempo de detención o permanencia "P".

Los objetivos que se persiguen con estas características son:

1º) Reunir los microfloculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua

2º) Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación.

Tanto el gradiente de velocidad como la permanencia óptima varían según el tipo de agua y se deben hallar por experimentación.

La velocidad con que se unen las partículas para formar el floc está determinada por el número de contacto entre las mismas en la unidad de tiempo. Este número de contactos en un punto determinado del fluido en movimiento es directamente proporcional al gradiente de velocidad, a la concentración de partículas y al tamaño de las mismas. Por otra parte, según experiencias realizadas por Camp⁷, la concentración del floc es inversamente proporcional al gradiente de velocidad y a la permanencia P, esto quiere decir que es posible variar el volumen del floc cambiando la energía que se le comunique a la masa líquida o la permanencia en el floculador. Al aumentar el gradiente de velocidad el floc se hace más pequeño pero a la vez más compacto, teniendo una mayor velocidad de sedimentación. Al contrario, el floc producido con baja velocidad de agitación o gradiente es grande y esponjoso y sedimenta con dificultad.

El gradiente de velocidad tiene las dimensiones:

$$dv/dz = L/t \times L = 1/t = t^{-1} \text{ y es expresado en } \text{seg}^{-1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Se mencionó que a mayores gradientes de velocidad, menores son los tamaños de los flocs pero más compactos, por lo tanto, es razonable efectuar la floculación en varias etapas (2 o más) en una serie de depósitos con gradientes de velocidad decrecientes. Usualmente el valor de 75 seg^{-1} al principio y al final alrededor de 20 seg^{-1} .

Clasificación de los floculadores

Según el tipo de energía usada para producir la agitación, los floculadores pueden clasificarse en Hidráulicos y Mecánicos.

Los primeros, según el sentido del flujo se clasifican en: flujo horizontal y de flujo vertical. Los mecánicos son generalmente rotatorios de paletas, tanto en el eje horizontal como de eje vertical.

Floculadores Hidráulicos: Derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Consisten en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo.

La velocidad v promedio suele variar entre 0.2-0.6 m/seg. Normalmente se proyectan estos floculadores haciendo 2 o 3 sectores, incrementando el espaciamiento de los tabiques de forma de producir una alta velocidad al principio y baja al final. El coeficiente k varía entre 2 y 4, lo más frecuente $k = 3$. La pérdida de carga h_3 se calcula con la fórmula de Manning (pérdida de carga en canales rectangulares).

En estos floculadores la potencia consumida se calcula con las siguientes expresiones:

$$Pot = \frac{\gamma Q \cdot h_f}{V} , V = \text{volumen floculador} \dots\dots\dots(2.2)$$

también $Pot = \frac{\gamma v \cdot h_f}{l} , v = \text{velocidad flujo} = Q/A \dots\dots\dots(2.3)$

l = longitud de canales

también $Pot = \frac{\gamma h_f}{P} ; P = \text{permanencia} = V/Q \dots\dots\dots(2.4)$

A partir de Pot se calcula el gradiente de velocidad G

$$G = \left(\frac{g \cdot Pot}{\mu} \right)^{1/2} = \left(\frac{\gamma g \cdot v \cdot h_f}{\mu l} \right)^{1/2} = \left(\frac{g \cdot \gamma h_f}{\mu P} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(2.5)$$

De estas expresiones se desprende que la potencia disipada y por lo tanto el gradiente de velocidad depende de la pendiente hidráulica hf/l , o sea que cuanto mayor pérdida de carga hf se produzca en la distancia l , mayor gradiente de velocidad se consigue.

La ventaja que tienen estos floculadores es que se produce más pérdida de carga y por lo tanto mayor gradiente de velocidad en los giros a 180° que en tramos rectos. Por lo tanto es conveniente disminuir la velocidad en los giros para evitar la rotura del floc. Es aconsejable una velocidad no mayor de 0,15 a 0,20 m/seg. También se aconseja que el espaciamiento entre el extremo del tabique y el muro sea igual a 1,5 veces la separación entre tabiques. Cuando la variación de caudales es muy grande es conveniente proyectar tabiques móviles para evitar la variación de velocidades. Cuando se proyectan floculadores de este tipo generalmente se divide en 2 partes con gradientes de velocidades decrecientes.

Floculadores mecánicos: Se entiende por floculadores mecánicos aquellos que requieren una fuente de energía externa que mueva un agitador en el tanque o serie de tanques. Los agitadores están constituidos por paletas que giran a baja velocidad y pueden ser de eje vertical o de eje horizontal. A mayor velocidad de giro, mayor energía entregada. Los agitadores pueden tener 2 o 3 paletas o travesaños unidos por una pieza central al eje. Cuando se usan agitadores de eje horizontal se requiere por lo general un pozo seco al lado del tanque de floculación para acomodar los motores que impulsan el sistema.

En general estos floculadores se diseñan teniendo en cuenta que el área de las paletas no debe ser mayor del 15 al 20% de la sección transversal del tanque, para evitar la rotación general del líquido. Además la distancia entre los extremos de los agitadores se suele hacer no menor de 0,60 m y el espacio entre ellos y el fondo del tanque, no menor de 0,30 m.

El defecto de los floculadores mecánicos es la facilidad con que se producen cortocircuitos. Por ésta causa, la permanencia en éste tipo oscila entre 15 y 45 minutos. Se diseñan siempre 2 o más cámaras, con gradientes de velocidad decrecientes.

2.1.1.2 SEDIMENTACIÓN

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido o sea las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas. Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos a la vez. La sedimentación y la filtración, por lo tanto, deben considerarse como procesos complementarios. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en el tiempo económicamente aceptable. La filtración en cambio separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido resuspendidos por cualquier causa y que por lo tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

Antes de desarrollar la metodología del diseño de estos sedimentadores, es conveniente estudiar un modelo teórico de sedimentación, con clarificación Tipo I (partículas aisladas), que nos va a ayudar a definir conceptos y establecer parámetros, aplicables también a partículas aglomeradas.

El modelo fue desarrollado por Hazen en 1904 y luego continuado por Camp en 1946 quien lo definió como el decantador hipotético en el cual la sedimentación se realiza de la misma

manera que en un recipiente de igual profundidad con un líquido en reposo. El modelo responde a las siguientes características.

- Se identifican en el tanque de sedimentación 4 zonas independientes
- Hay una distribución uniforme de partículas en la entrada
- En la zona de sedimentación la dirección de flujo es horizontal y velocidad es la misma en todos sus puntos.
- Toda partícula que entra en la zona de lodos queda atrapada y se considera removida.

Las trayectorias de las partículas de diferente velocidad de sedimentación son rectas producto de la composición de los dos movimientos, el de desplazamiento del fluido V_f y el de sedimentación crítica.

Se define como velocidad de sedimentación crítica V_{sc} , a la velocidad de la partícula que ingresa a la zona de sedimentación en la parte superior y es retenida en la zona de lodos en la posición extrema. Las partículas con velocidades V_{sc} o mayor, son removidas en su totalidad; El conjunto de partículas con velocidades menores que V_{sc} serán retenidas en forma parcial.

$$V_f = Q/BH \dots\dots\dots(2.6)$$

$$V_{sc}/V_f = H/L \dots\dots\dots(2.7)$$

Por lo tanto

$$V_{sc} = V_f * (H/L) = H*H / B*H*L = Q/ B*L\dots\dots\dots(2.8)$$

$$V_{sc} = Q/ A_h \dots\dots\dots(2.9)$$

Donde A_h es área horizontal

El cociente Q/ A_h , se denomina carga superficial y se le expresa en m^3/m^2 día. Como puede verse en esa expresión, las partículas removidas con V_{sc} o mayores, en un sedimentador ideal, es función del caudal y del área superficial. No es función de la altura del tanque ni del tiempo de retención o permanencia.

Este concepto es sólo aplicable al tanque ideal. En la práctica no existen tanques ideales. En los tanques reales, el proceso de sedimentación se ve afectado por una serie de variables entre las que podemos enumerar las siguientes:

- a. Corrientes de densidad
 - Térmicas (diferentes temperaturas)
 - De concentración (diferentes concentración de partículas)
- b. Corrientes debido al viento
- c. Corrientes cinéticas
 - Alteraciones de la entrada

- Obstrucciones de la sedimentación
- Alteraciones de salida

Debido a estas diferencias entre el tanque real y el ideal, no se puede considerar que la eficiencia de un sedimentador depende únicamente de su carga superficial. Lo más correcto es afirmar que la carga superficial es más importante que la profundidad del tanque y del período de retención.

Por otra parte, las partículas floculadas no son esféricas y cambian de forma y peso al agruparse otras partículas durante la caída. (Sedimentación TIPO 2)

De lo anterior se puede sacar en conclusión que el estudio de la eficiencia de un sedimentador sólo se puede hacer en forma práctica o con modelos por medio de trazadores u otros sistemas.

Para el diseño de sedimentadores reales, vamos a ver las consideraciones que deben tenerse para cada una de las 4 zonas en que fue dividido el sedimentador:

Zona de sedimentación: factores que deben considerarse

- a. Carga superficial
- b. Periodo de retención o permanencia y profundidad
- c. Forma del sedimentador
- d. Velocidad horizontal y relación largo – profundidad

a. Carga superficial: es la velocidad mínima de sedimentación Q/Ah , que se espera que en promedio tenga un cierto porcentaje (70-98%) de partículas de la suspensión. La determinación de la carga superficial puede hacerse experimentalmente efectuando un ensayo de sedimentación. Según Acevedo Netto², los flocs de sulfato de aluminio sedimentan con una velocidad comprendida entre 0.015 y 0.017 cm/seg o sea entre 13 y 60 m/día.

Por lo tanto la carga superficial debería variar entre 13 y 60 m^3/m^2 día.

La tabla 2.2 muestra los valores sugeridos para las cargas superficiales:

Tabla 2.2 Valores para cargas superficiales en sedimentadores.

Tipo de instalación	Carga superficial (m^3/m^2 día)
Instalaciones pequeñas con operación precaria	20-30
Instalaciones proyectadas con nueva tecnología con operación razonable	30-40
Instalaciones proyectadas con nueva tecnología con buena operación	35-45
Instalaciones grandes con nueva tecnología, excelente operación y con auxiliar de coagulación cuando se necesite	40-60

Las cargas bajas, se usan con filtros de arena sola. Las altas ($35-45 m^3/m^2$ día) con filtros de lecho múltiple.

b. Período de detención y profundidad: El período de detención o permanencia es el tiempo máximo que la partícula con la mínima velocidad de sedimentación elegida, tarda en llegar al fondo. Por lo tanto, cuanto menor sea la profundidad, menor será el periodo de detención. Este concepto es aplicable a los sedimentadores de alta velocidad (régimen laminar). En los sedimentadores horizontales no pueden construirse con profundidades pequeñas debido a que la velocidad horizontal no puede hacerse muy alta. Las profundidades varían entre 3 y 4.5 m.

c. Forma de los sedimentadores: Los más comunes son los rectangulares. La relación largo-ancho (L/A) varía entre 4 y 5.

d. Velocidad horizontal y relación largo profundidad: En los sedimentadores horizontales es conveniente que la velocidad sea la más alta posible para estimular la floculación, pero sin que perjudique la eficiencia. Si Q es el caudal; Vsc la velocidad de sedimentación crítica (carga superficial) y Vh es la velocidad horizontal, será

$$Q = V_{sc} \cdot Ah ; Q = V_h \cdot Av \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Como :

$$Ah = A \cdot L ; Av = A \cdot h \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Resulta que:

$$L / h = V_h / V_{sc} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Zona de Entrada: Resulta difícil hacer pasar el agua que proviene de los floculadores con un gradiente de velocidad entre 20 y 30 seg^{-1} , a sedimentadores donde el gradiente es de apenas 1 seg^{-1} , sin que se produzcan perturbaciones. Por lo tanto la finalidad de la estructura de entrada es:

1. Distribuir el afluente lo más uniformemente en toda el área transversal del decantador.
2. Evitar que haya chorros de agua que produzcan movimientos rotacionales
3. Disipar la energía que trae el agua.
4. Evitar altas velocidades que puedan arrastrar los sedimentos del fondo.

Es conveniente que las velocidades de entrada no sean mayores de 15 cm/seg. Según Azevedo Netto², os tabiques difusores deben tener un gran número de orificios pequeños, de forma circular. Los orificios más bajos deben estar a h/4 a h/5 del fondo, los orificios más altos deben estar a h/5 a h/6 de la superficie.

Zona de Salida. La salida del agua del decantador se realiza por vertederos. Generalmente se especifica que la longitud de vertedero de salida debe ser tal que el gasto esté comprendido entre 1,67 y 3,3 L/seg. [6 y 12 m^3/hora] por metro de vertedero.

Zona de lodos. Los lodos se depositan en el fondo del sedimentador de manera no uniforme. Entre el 60 y 90% queda retenido en la primera mitad. La cantidad de lodos varía con la turbiedad del agua y la cantidad de productos químicos usados para la coagulación.

Por otra parte, la remoción del lodo puede hacerse en forma continua o de forma intermitente. Cuando se hace en forma continua, se usan cadenas barreadoras de barros que van empujando a estos lentamente por medio de zapatos a un concentrador. Cuando se remueven en forma intermitente, hay que vaciar el decantador cada cierto tiempo para que durante el vaciado se arrastre los barros hidráulicamente. Se completa la limpieza del fondo en forma manual.

En los sedimentadores de manto de lodos, el agua entra por debajo, en el fondo del tanque y asciende hasta las canaletas de recolección. Consisten esencialmente en un tanque de fondo cónico o piramidal en la parte inferior, en el cual se inyecta el agua cruda que asciende, disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta; se forma de esta manera un manto de partículas o manto de lodos hidráulicamente suspendido. El agua que asciende tiene que pasar el manto, de forma que en el mismo tanque se realizan los procesos de floculación (dentro del manto) y la sedimentación. En el manto de lodos hay una alta concentración de partículas (10 al 20% del volumen) por lo que se le puede considerar como un filtro de flujo ascendente. En este proceso, las partículas pequeñas que entran por el fondo arrastradas por el caudal de entrada al chocar con otras incrementan su tamaño, hasta adquirir un volumen tal que caen, chocando con las que suben.

Para comprender mejor el fenómeno que ocurre dentro del sedimentador, supongamos una suspensión concentrada en un líquido en reposo, se formará un plano de separación entre éste y el manto de lodos, llamado interfase. Este plano de separación, al principio cae con velocidad creciente AB; luego desciende con velocidad constante BC; luego la velocidad disminuye bruscamente cuando los lodos empiezan a compactarse en el fondo, CD. Durante el proceso, el agua atrapada entre las partículas asciende desplazada por los sólidos con una velocidad V_d , opuesta a la velocidad V_s de caída de las partículas. Por lo tanto la velocidad de caída de la interfase será:

$$V_i = V_s - V_d = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Supongamos ahora que en el recipiente ingresa un caudal (Q) por la parte inferior, que sale por la parte superior. En este caso podemos distinguir 4 velocidades:

1. La velocidad ascensional del agua:
 $V = Q / A \dots\dots\dots(2.14)$

A :es el área superficial.

2. La velocidad intersticial, V_d del flujo que asciende por entre las partículas, y que podría expresarse como:

$$V_d = Q / p * A \dots\dots\dots(2.15)$$

p: es el porcentaje de área libre, no ocupada por las partículas.

3. Velocidad de caída de la partícula V_s , considerada como si descendiera sola en un líquido en reposo sin interferencias.

4. Velocidad de caída de la interfase, V_i .
Teóricamente para la condición de equilibrio:

$$V_i = Q / A = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Esto determina que la carga superficial con que trabaja la unidad es la velocidad de caída de la interfase, V_i . Por otra parte debemos tener en cuenta que la V_i es función de la concentración del manto (a mayor concentración, menor velocidad de caída) y que a mayor concentración mejor calidad de agua decantada.

Estos sedimentadores trabajan con cargas entre 40 y 60 m^3 / m^2 día. El tiempo de retención o permanencia suele estar entre 1 y 1.5 horas.

Tabla 2.3 Clasificación de tipos de sedimentadores.

Clarificación por sedimentación Tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores y presedimentadores
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas
3	Soluciones de concentración intermedia	Las partículas interfieren entre sí en descenso manteniendo posiciones estables	Deposición de Lodos en decantadores de flujo ascendente
4	Soluciones de alta concentración	Se forma una estructura entre las partículas que van modificándose con el tiempo	Compactación de depósitos de lodos

2.1.1.3 FILTRACIÓN

La filtración se refiere al flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo de agua en el suelo, bajo la acción de la gravedad. Es un proceso de separar un sólido suspendido (como un precipitado) del líquido en el que está suspendido al hacerlos pasar a través de un medio poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente.

La filtración es un proceso básico en la industria química que también se emplea para fines tan diversos como la preparación de café, la clarificación del azúcar o el tratamiento de aguas residuales.

El líquido a filtrar se denomina suspensión, el líquido que se filtra, el filtrado, y el material sólido que se deposita en el filtro se conoce como residuo.

En los procesos de filtración se emplean cuatro tipos de material filtrante: filtros granulares como arena o carbón triturado, láminas filtrantes de papel o filtros trenzados de tejidos y redes de alambre, filtros rígidos como los formados al quemar ladrillos o arcilla (barro) a baja temperatura, y filtros compuestos de membranas semipermeables o penetrables como las animales. Este último tipo de filtros se usan para la separación de sólidos dispersos mediante diálisis.

La filtración de suspensiones es una de las aplicaciones más conocidas del flujo de fluidos a través de un medio filtrante. En esta operación, las partículas suspendidas en el fluido, son retenidas en un medio poroso, dejando pasar este último, un fluido sin partículas sólidas. Dependiendo de la aplicación, el objetivo principal puede ser el de recuperar el sólido suspendido en el líquido o bien obtener un filtrado libre de partículas, a fin de disminuir el impacto ambiental de aguas industriales con sólidos residuales.

La operación de filtrado de líquidos puede ser realizada en diversos equipos, dependiendo de las características de la suspensión (Viscosidad, pH, Temperatura), de los volúmenes a manejar y de la naturaleza y tamaño de las partículas. La clasificación de los equipos de filtración puede ser realizada bajo diversos esquemas. Por ejemplo, forma de funcionamiento (filtros continuos o discontinuos); tipo de gradiente que produce el movimiento del fluido (Filtros que operan por gravedad o que operan debido a un gradiente de presión o vacío).

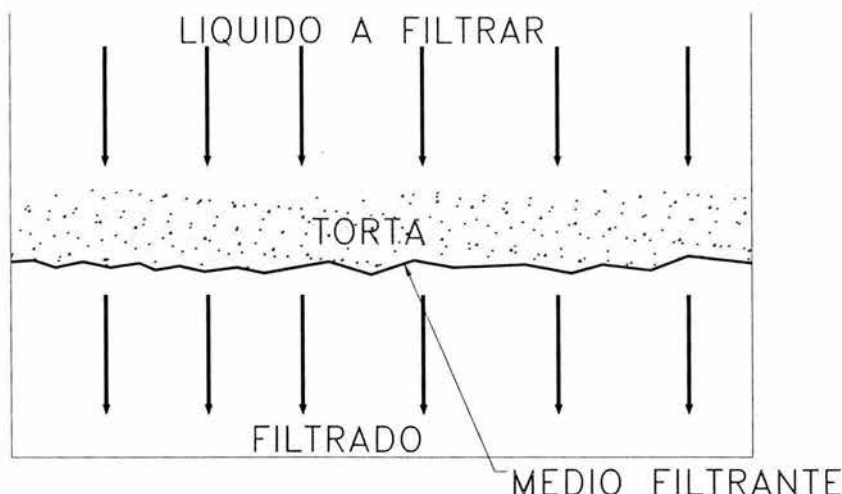
Finalmente, también es posible clasificar los filtros de acuerdo con la naturaleza del medio filtrante y de los mecanismos de retención de las partículas: filtración en profundidad y filtración sobre superficies.

La filtración depende de una serie de factores; el tamaño y la forma de las partículas desempeñan un papel muy especial.

En general, los poros del medio tendrán una forma tortuosa y serán mayores que las partículas que deben separarse, operando el filtro de forma eficaz únicamente después de que un depósito inicial haya sido retenido en medio. En la versión industrial de esta operación, nos encontramos con las dificultades inherentes al movimiento mecánico de cantidades mucho mayores de suspensión y sólidos. Debemos permitir la formación de una capa más gruesa de sólidos y, para conseguir una elevada velocidad de paso del líquido a través de los sólidos, se requerirán presiones más elevadas. En otro caso, será necesario proporcionar un área mucho mayor.

En la figura 2.1 se ilustra una operación típica de filtración, mostrándose el medio filtrante, en este caso una tela, su soporte y la capa de sólidos, o torta filtrante, que se ha formado ya.

Figura 2.1 Operación típica de filtración .



Los volúmenes de las suspensiones a tratar variarán desde las cantidades extremadamente grandes que aparecen en la depuración del agua y en el tratamiento de minerales en la industria minera, hasta cantidades relativamente pequeñas en la industria química, en la que la variedad de sólidos será considerable. En la mayor parte de casos de la industria química lo que interesa son los sólidos, siendo sus propiedades físicas y tamaño de gran importancia. Los principales factores a considerar al seleccionar el equipo y las condiciones de operación son:

- Las propiedades del fluido, especialmente su viscosidad, densidad y propiedades corrosivas.
- La naturaleza del sólido: tamaño y forma de partícula, distribución de tamaños, y características de relleno.
- La concentración de sólidos en suspensión.
- La cantidad de material a tratar y su valor.
- Si el producto valioso es el sólido, el fluido o ambos.
- Si es necesario lavar los sólidos filtrados.
- Si una contaminación muy ligera provocada por el contacto de la suspensión o el filtrado con los diversos componentes del equipo es perjudicial para el producto.
- Si la suspensión de alimentación puede calentarse.
- Si puede ser interesante efectuar algún tratamiento previo.

La filtración es esencialmente una operación mecánica y requiere menos energía que la evaporación o el secado, en las que debe suministrarse el elevado calor latente del líquido, generalmente agua. En la operación típica mostrada en la figura 2.1 se establece gradualmente una torta sobre el medio filtrante, incrementándose progresivamente la resistencia al flujo. Durante el

período inicial de flujo se depositan partículas en las capas superficiales de la tela, formándose el verdadero medio filtrante. Este depósito inicial puede efectuarse mediante un primer flujo especial de material adecuado. Los factores más importantes de que depende la velocidad de filtración serán entonces:

La caída de presión desde la alimentación hasta el lado más lejano del medio filtrante.

- El área de la superficie filtrante.
- La viscosidad del filtrado.
- La resistencia de la torta filtrante.
- La resistencia del medio filtrante y de las capas iniciales de torta.
- Las partículas muy finas o incluso coloides, forman una torta de filtración muy compacta que dificulta la filtración.
- Las partículas gruesas y cristalinas, en cambio, forman una torta porosa y se dejan filtrar con facilidad.
- Las partículas cristalinas redondas o esquinada se filtran bien. Por el contrario, las partículas laminares se depositan una sobre otra dificultando el paso del líquido a filtrar.

La teoría de filtración es valiosa para interpretar análisis de laboratorios, buscar condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales. El empleo de esta teoría está limitado por el hecho de que las características de filtración se deben determinar siempre en el agua a tratar o en un agua lo más parecida posible a la que se ha de tratar, puesto que los datos obtenidos son difícilmente aplicables a otro tipo de agua. Al comparar la filtración a nivel industrial ésta difiere de la del laboratorio en el volumen de material manejado y en la necesidad de manejarlo a bajo costo. Para obtener un gasto razonable con un filtro de tamaño moderado, se puede incrementar la caída de presión del flujo o disminuir la resistencia del mismo. Para reducir la resistencia al flujo el área de filtrado se hace tan grande como sea posible, sin aumentar el tamaño total del equipo o aparato de filtración. La selección del equipo de filtrado depende en gran medida de la economía.

Al aplicar la teoría de filtración a la interpretación de datos, las ecuaciones obtenidas son útiles para predecir los efectos de un cambio en cualquier variable, si se determinan las constantes a partir de datos tomados de la lechada en cuestión.

Proceso de filtración

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla. El medio filtrante es la barrera que permite que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos, los cuales se acumulan en una capa sobre la superficie o filtro (torta de filtración), por lo que el fluido pasará a través del lecho de sólidos y la membrana de retención.

El sistema de filtración va desde un simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o

plásticas, redondas o alargadas, individuales separadas o agregados. La suspensión de alimentación puede llevar una fracción elevada o muy baja de sólidos.

En algunos casos, la separación de las fases debe ser prácticamente completa; en otros se desea una separación parcial, por lo que se han desarrollado numerosos filtros para las diferentes situaciones.

Termodinámicamente, un filtro es un sistema de flujo. Por medio de un diferencia de presión aplicada entre la entrada de la suspensión y la salida del filtrado, la suspensión circula a través del aparato, en el cual se depositan los sólidos presentes en el flujo, formando un lecho de partículas, por el que debe seguir circulando la suspensión a filtrar. El filtrado pasa a través de tres clases de resistencia en serie:

- Las resistencias de los canales que llevan la suspensión hasta la cara anterior de la torta, y el filtrado desde que sale del medio filtrante.
- La resistencia correspondiente a la torta.
- La resistencia correspondiente al medio filtrante.

Con respecto a la distribución de la caída global de presión, se observa que por ser éste un flujo en serie, la diferencia de presión total en el filtro puede igualarse a la suma de las diferencias de presión individuales. En un filtro bien diseñado las resistencias de las conexiones de entrada y salida son pequeñas y pueden despreciarse en comparación con la resistencia de la torta y del medio filtrante. Al incrustarse las primeras partículas en las mallas del medio filtrante, se produce una resistencia adicional que afecta al flujo posterior.

La resistencia total que se establece sobre el medio, incluyendo la de las partículas incrustadas, se llama resistencia del medio filtrante y es importante durante los primeros momentos de la filtración. La resistencia que ofrecen los sólidos, y que no se debe al medio filtrante, se llama resistencia de torta. La resistencia de la torta es cero al iniciar la filtración, a causa de la deposición continua de sólidos sobre el medio, esta resistencia aumenta continuamente con el tiempo de filtración.

La caída total de presión del filtro, es equivalente a la suma de las presiones generadas por el filtro, la torta y el medio.

Al despreciar las resistencia de las conducciones, la caída total de presión del filtro en cualquier momento, es igual a la suma de las diferencias de presiones sobre el medio y la torta.

Filtración a presión constante: Para una suspensión determinada en un filtro dado, la variable principal que se puede controlar, es la caída de presión, en la que si la diferencia de ésta es constante, la velocidad de flujo es máxima al comienzo de la filtración y disminuye continuamente hasta el final; este método es llamado filtración a presión constante.

Filtración a velocidad constante: Al comienzo de la filtración, con frecuencia la resistencia del filtro es grande comparada con la resistencia de la torta, ya que ésta es delgada. En estas circunstancias la resistencia ofrecida al flujo es prácticamente constante, por lo que la filtración transcurre a velocidad casi constante. A través de relaciones matemáticas se puede obtener la cantidad de líquido que ha pasado por el filtro, la caída de presión necesaria para obtener cualquier velocidad de flujo deseada y además determinar la resistencia de la torta de filtración.

Medios filtrantes

La resistencia del material del filtro y la de la capa preliminar de la torta, se combinan en una sola resistencia, que se conoce como resistencia del filtro y que se expresa en función de un espesor ficticio de torta de filtración; este espesor se multiplica por la resistencia específica de la torta, obteniéndose así el valor numérico de la resistencia del filtro.

El medio de filtración de cualquier filtro debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Retener los sólidos que han de filtrarse con una rapidez después que se inicie la alimentación, dando un filtrado suficientemente claro.
- No debe obstruirse, o sea velocidad baja de arrastre de sólidos dentro de sus intersticios.
- Resistencia mínima al flujo de filtrado.
- Ser químicamente inerte.
- Tener la suficiente consistencia física para resistir las condiciones del proceso (o sea suficiente resistencia para sostener la presión de filtración).
- Resistencia aceptable del desgaste mecánico.
- Permitir la descarga limpia y completa de la torta formada.
- Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro con el cuál se utilizará.

Ejemplos de medios filtrantes son: telas, tejidos de fibras, fieltro o fibras no tejidas, sólidos porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados en forma de un lecho permeable.

En relación a la resistencia que ofrece el medio de filtración, se sabe que la diferencia de presión, y tal vez la velocidad de flujo lo afecten; además un medio filtrante viejo y usado tiene una resistencia mucho mayor que uno nuevo y limpio. Esta resistencia del medio es considerada constante porque generalmente sólo es importante en los primeros instantes del proceso, de esta manera puede ser determinada a partir de datos experimentales.

Aparatos utilizados en filtración

Los aparatos que se utilizan en filtración, constan básicamente de un soporte mecánico, conductos por los que entra y sale la dispersión y dispositivos para extraer la torta. La presión se puede proporcionar en la parte inicial del proceso, antes del filtro o bien se puede utilizar vacío después del filtro, o ambas a la vez, de forma que el fluido pase a través del sistema.

La mayoría de los filtros industriales operan a vacío o a presión, es decir, operan a presión superior a la atmosférica. También son continuos o discontinuos, dependiendo de que la descarga de los sólidos sea continua o intermitente. Durante gran parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo de líquido a través del aparato es continuo, pero debe interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo, tanto la descarga de los sólidos como del líquido es ininterrumpida cuando el aparato está en operación.

Filtros prensa (discontinuo de presión): En estos filtros se coloca una tela o una malla sobre placas, de manera tal que sean los bordes los que soporten a la tela y al mismo tiempo dejen debajo de la tela un área libre lo más grande posible para que pase el filtrado. Las placas se disponen generalmente en forma horizontal, aunque con mayor frecuencia cuelgan verticalmente, para así

disponer de un área suficiente para la operación que se trate, estas placas son varias y se encuentran apretada por tornillos o una prensa hidráulica; estas placas se disponen en paralelo. Al circular la suspensión, la torta se forma en el lado más alejado de la placa, parte que se conoce con el nombre aguas arriba de la tela. En los primeros instantes de la filtración, la caída de presión en la tela es pequeña y el proceso ocurre a velocidad aproximadamente constante. A medida que transcurre el proceso y, por tanto, crece la torta húmeda, el proceso transcurre a presión constante, situación que perdura en la mayor parte del ciclo de filtración. Una vez que el espacio disponible entre dos placas sucesivas se ha llenado con torta, es necesario desarmar la prensa y extraer la torta.

Filtros espesadores de presión (continuos de presión): El objeto de un filtro espesador es separar parte del líquido contenido en una suspensión diluida para obtener otra concentrada. Tiene la apariencia de un filtro de prensa, sin embargo, no contiene marco y las placas están modificadas. Las placas sucesivas llevan canales apareados que forman, cuando se monta la prensa, una conducción larga en espiral para la suspensión. Los lados de los canales están recubiertas con un medio filtrante mantenido entre las placas. Mientras la suspensión pasa por el canal a presión, una parte del fluido sigue fluyendo por el canal hacia al distribuidor múltiple de descarga de líquido claro. La suspensión espesada se mantiene en movimiento rápido para no obstruir el canal. El número de placas escogido de modo que la diferencia de presión en todo el aparato no exceda de 6 kgf/cm^2 . En estas condiciones es posible duplicar la concentración de la suspensión de entrada. Si se requiere una concentración mayor, la suspensión espesada en un filtro se introduce nuevamente en un segundo filtro.

Filtros rotatorios (continuo de vacío): En este tipo de filtros, el flujo pasa a través de una tela cilíndrica rotatoria, de la que se puede retirar la torta de forma continua. La fuerza más común aplicada es la de vacío. En estos sistemas, la tela se soporta sobre la periferia de un tambor sobre los que se está formando la torta.

Filtros centrífugos: En éstos se utiliza la fuerza centrífuga como fuerza motriz; estos aparatos basan su funcionamiento en centrifugas provistas de una cesta perforada que puede tener una tela encima. El líquido pasa al interior de la cesta y por medio de la fuerza centrífuga pasa a través del material filtrante.

Filtros de aire: Estos filtros comúnmente son utilizados para quitar el polvo o las partículas suspendidas en las corrientes de aire. En estos aparatos se hace pasar el aire o el gas a través de un tejido, de forma que éste retenga el polvo. Un tipo de estos filtros, el de saco, consiste en una serie de sacos de tela cilíndricos y verticales de 15-30 cm de diámetro, a través de los cuales pasa el aire en paralelo; el aire cargado de polvo entra en los sacos, generalmente por el fondo, y pasa a través de la malla.

Cabe destacar que los filtros anteriormente vistos son a modo de ejemplo destacando el filtro de prensa, el cual es comúnmente usado en laboratorios. Se pueden encontrar una variedad muy amplia de estos en el comercio dependiendo de la finalidad del proceso a realizar.

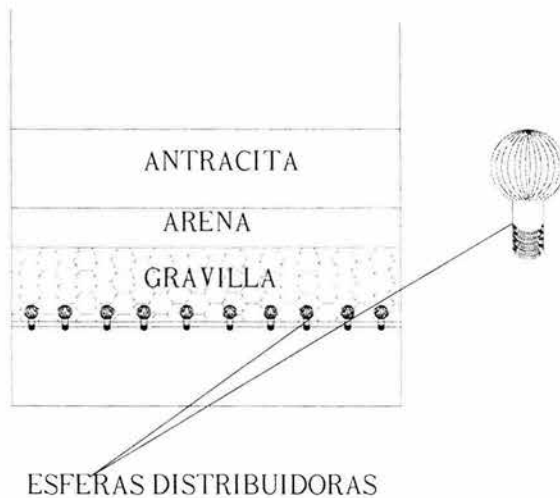
Filtro de arena a presión: El filtro más sencillo posible es una caja de madera con el fondo perforado y llena de arena suelta. Los filtros de este tipo se han empleado con frecuencia para muchos objetos, pero hoy en día constituyen un tipo definido y completamente normalizado. Suelen ser útiles principalmente cuando la cantidad relativa de sólido que hay que separar es muy pequeña y cuando se tienen que manejar volúmenes de líquido muy grandes con el mínimo costo.

La figura 2.2 representa un filtro típico de arena, a presión, utilizado para la filtración del agua de alimentación a la red de distribución municipal o para necesidades similares.

En el fondo del deposito, montados sobre un falso fondo (una placa perforada) o conectados a unas tuberías de distribución envueltas en cemento, hay un cierto numero de coladores (hidroesferas); que están contruidos en bronce o de un polímetro muy resistente y llevan unas ranuras estrechas en la cabeza. Sobre los coladores hay una capa de algunos centímetros de grava de un tamaño moderado y sobre ésta va otra de arena que forma el filtro propiamente dicho. Esta capa de arena suele ser de 0,60 a 1,20 m de alta. Durante la operación, el agua que ha de filtrarse se introduce por la parte superior, donde choca con la pantalla con objeto de impedir que la arena se revuelva. El agua filtrada se extrae por el fondo a través de los coladores. Cuando el flujo de agua disminuye, significa que las partículas sólidas obstruyen el filtro, por lo que se procede al lavado del filtro haciendo ingresar agua ya filtrada por la parte inferior del filtro en contracorriente a través del lecho de arena y sale por donde normalmente es la entrada. Esta agua se desecha.

La disposición de las válvulas de un filtro de arena a presión, esta normalizada y se representa en la figura.2.2

Figura 2.2 Arreglo típico de un filtro presurizado.



Filtro rápido de arena o abierto: La forma general de operar de un filtro de este tipo es semejante a la del filtro anterior, diferenciándose en que la arena en lugar de estar contenida en un deposito para resistir la presión, esta contenida en unos grandes depósitos abiertos de hormigón. Este tipo de filtros se emplea principalmente en los servicios municipales de filtración de agua; en los

molinos de papel, donde se necesitan cantidades enormes de agua muy limpia, también se utilizan estos filtros.

Filtros continuos: Los dos principales tipos de filtros rotatorios continuos son el de tambor rotatorio y el de discos. Son filtros de succión en los que filtración, lavado secado parcial y descarga de la torta tienen lugar automáticamente. Las necesidades de mano de obra son por lo tanto bajas y puede obtenerse un funcionamiento económico, especialmente si la alimentación es una suspensión espesa. Los filtros rotatorios se desarrollaron para su utilización en la industria minera, hoy en día se utilizan ampliamente en la industria química en la que, por ejemplo, se filtran en gran escala los cristales de carbonato de calcio y de sulfato de amonio.

2.1.1.4 ADSORCIÓN

La adsorción es la operación unitaria en la que se transfiere un compuesto presente en la fase líquida o gaseosa a la superficie de una fase sólida.

La adsorción de una molécula en la fase sólida puede ser física y reversible (fisisorción) o puede ser química e irreversible (quimisorción). En la fisisorción intervienen esencialmente fuerzas de Van der Waals, la energía involucrada es baja (< 40 kJ/mol). La quimisorción se realiza por una reacción entre la molécula y los grupos funcionales de la superficie del adsorbente, la energía que interviene es más elevada (>40 kJ/mol).

En aguas dulces típicas, el grueso de los constituyentes en una muestra filtrada lo forman los minerales disueltos. Sin embargo hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en forma de coloides. Entre ellos se encuentran la sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos, como lo son las sustancias que producen el sabor, el color y el olor.

A medida que el tamaño de partícula se reduce por debajo de 1.0 micras, aumenta la relación de superficie a volumen, y en consecuencia la carga eléctrica por unidad de masa. Esto además estabiliza la materia coloidal evitando la sedimentación.

Los coloides se clasifican en hidrófobos e hidrófilos, resistiendo los primeros a ser humectados por el agua y los segundos son casi siempre atraídos por ella, y por lo tanto son los más difíciles de ser adsorbidos. Los adsorbentes pueden ser materiales en forma de polvo fino aplicado al agua.

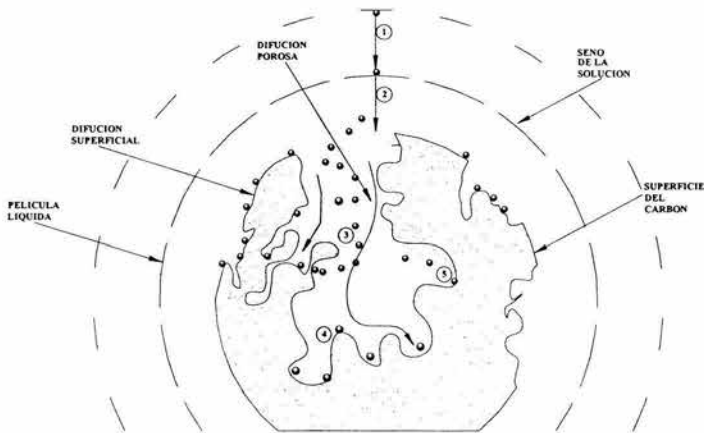
La transferencia de un adsorbato en la fase líquida hacia un sitio de adsorción se realiza en cuatro etapas principales

- 1.- Transferencia del adsorbato de la fase líquida externa hacia la fase líquida situada cerca de la superficie del adsorbente.
- 2.- Transferencia del adsorbato a través de la película hacia la superficie del adsorbente.
- 3.- Difusión del adsorbato al interior de los poros del adsorbente bajo el efecto de un efecto de gradiente de concentración. La molécula puede ser difundida de un sitio de adsorción a otro (difusión superficial) o difundir en la fase líquida al interior del grano hasta un sitio de adsorción (difusión porosa).

4.- adsorción.

De esta manera el proceso de adsorción comprende tres etapas de transporte y una etapa de fijación sobre el material, la cual es la adsorción propiamente dicha. Debido a que esas cuatro etapas se efectúan en serie, la velocidad de la adsorción esta limitada por la etapa más lenta. La última etapa es extremadamente rápida con respecto a las otras tres y su contribución a la cinética del proceso es despreciable. En los equipos de adsorción, de régimen estático o dinámico, las condiciones hidrodinámicas del sistema están controladas para favorecer un tiempo de contacto máximo entre la fase fluida y el adsorbente. Debido a esta condición la primera etapa del mecanismo de adsorción es suficiente y rápida y no es considerada como la etapa limitante. Por consecuencia la cinética de adsorción de un soluto sobre la superficie de un adsorbente, esta determinada o la velocidad de transferencia del adsorbato a través de la película líquida externa (etapa 2) y/o por la velocidad de difusión del adsorbato al interior de la partícula del adsorbente (etapa 3), la figura 2.3, muestra un eschema de las diferentes etapas de la adsorción.

Figura 2.3 Etapas del mecanismo de adsorción



El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar, no puede o es quitada parcialmente por el Adsorbente, una sustancia no polar se puede quitar totalmente por el adsorbente.

Factores que influyen en la adsorción

Naturaleza del adsorbato: Estructura molecular: En general los compuestos orgánicos de cadena ramificada son menos absorbibles que los de cadena lineal.

El carbón activado: El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados ó más, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en " multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 300 veces este valor.

Por todo ello, cuando se desea remover una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

El carbón activado posee la virtud de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. La adsorción es la responsable de purificar, desodorizar y decolorar el agua, principio que es posible extender a otros sólidos, líquidos o gases que tomen contacto con un elemento adsorbente.

Se denomina carbón activado a cualquier clase de carbón vegetal o de hueso que es sometido a un proceso de pulverización o granulación y que se caracteriza por poseer una superficie específica (alrededor de 500 a 1500 m² por gramo). Esa superficie se caracteriza por una infinita cantidad de poros muy finos. Estos poros son los que retienen (adsorben) ciertos componentes que están presentes en el agua. En algunos casos, un gramo de carbón activado es capaz de adsorber hasta 0,93 gramos de gases y líquidos, lo que refleja la capacidad que posee.

¿Cómo se activa el carbón?

Activar debe entenderse como el proceso para que en un grano de carbón (en algunos casos impalpable), se formen una enorme cantidad de poros, cuya dimensión puede variar entre una millonésima y una diez milésima de milímetro.

Existen básicamente dos procesos a través de los cuales se puede lograr la activación:

a) Proceso Físico: La activación física consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en presencia de un agente oxidante, usualmente, vapor de agua. Debido a que la reacción es endotérmica es necesario generar una temperatura constante, normalmente y dependiendo de la materia prima, ésta es de 800 °C.

b) Proceso Químico: La activación química se basa en la deshidratación de la materia prima, mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 a 600 °C.), ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. Los agentes químicos normalmente utilizados son el ácido fosfórico, el cloruro de zinc y el ácido sulfúrico.

La activación se logra calentando el carbón a una temperatura de aproximadamente 800 °C, al tiempo que se inyecta en el ambiente donde es calentado, vapor de agua o anhídrido carbónico, que son los responsables de crear esos poros al oxidar parte de las moléculas de carbono. En algunos casos se agregan sustancias higroscópicas, tales como cloruro de zinc, para aumentar la capacidad de adsorción. El carbón de hueso posee aproximadamente un 10% de carbono, mientras que el vegetal puede tener hasta un 98%.

Obviamente el proceso no puede realizarse en un horno doméstico y si bien tampoco requiere de instalaciones extremadamente tecnificadas, debemos tener en cuenta que el carbón activado debe producirse en condiciones de higiene y sanidad acorde al uso que se le dará.

Se utiliza en forma de polvo impalpable de alta pureza, para la elaboración de medicamentos antidiarreicos y adsorbente intestinal. En granos de hasta dos milímetros, para filtros de líquidos de consumo humano (para purificar aguas destinadas a gaseosas, sifones, medicamentos, etc). Existen purificadores de aire, de líquidos industriales, etc. que utilizan carbón activado industrial, cuyo grado de pureza no es tan elevado y su costo bastante menor. Este sería el utilizado para acuarismo.

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño:

Micro poros	< 2 nm
Poros medio o meso poros	2 – 5 nm
Macro poros	> 5 nm

Los micro poros son poros con un radio de 20 Å ó menos y son los que más área proporcionan. Son útiles para adsorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

Los poros medios o meso poros están en el rango de 20- 500 Å y aunque su contribución al área total es menor que los micro poros, su tamaño les permite absorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos.

Los Macro poros casi no contribuyen al área total de un carbón pero su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros medios y micro poros, afectando la velocidad de Difusión de las impurezas en el carbón.

Desafortunadamente el área total y el tamaño de los poros no son fáciles de medir, y en consecuencia se suelen utilizar algunos índices como:

Ingeniería Básica de Proceso para la Planta Potabilizadora “Trabajadores del Hierro”

El índice de yodo.
El índice de melaza.
El índice de azul de metileno.
El índice de tetracloruro de carbono.
El índice de butano.

Estos índices nos dan una idea de que tan fácil se absorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que podemos darnos una idea del tipo de poros que tiene un carbón.

Normalmente es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que tiene es una determinada distribución.

Cuando la media se inclina hacia los micro poros se dice que el carbón es de "fase gaseosa"; en caso contrario, el carbón será para "fase líquida".

¿Cómo utilizarlo?

En términos generales los carbones activados se clasifican en dos grandes grupos:
Carbones para purificación en FASE LIQUIDA.
Carbones para purificación en FASE GASEOSA.

Purificación en fase líquida

La adsorción con carbón FASE LIQUIDA es útil para remover compuestos orgánicos que causan color, olor y sabor indeseables. Esta técnica es en la mayoría de los casos, la opción más sencilla y económica comparada con otras técnicas, por ejemplo: destilación, cristalización, etc.

Aunque la mayor parte de los compuestos que adsorbe el carbón activado son de naturaleza orgánica, existen algunas importantes excepciones inorgánicas.

La adsorción en la FASE LIQUIDA es resultado de dos fenómenos:

- a) Adsorción Física: debida a las fuerzas de Van Der Waals.
- b) Adsorción Química: debida a la formación de enlaces químicos.

Es importante mencionar que la adsorción en FASE LIQUIDA es el resultado de un equilibrio entre la adsorción y desorción, en consecuencia, es un fenómeno complejo que puede verse influenciado por muchas variables.

Existe una ecuación empírica que ha demostrado ser útil para predecir el comportamiento del carbón activado en la mayoría de las aplicaciones en fase líquida:

$$\frac{X}{M} = KC^{1/n} \dots\dots\dots(2.17)$$

Ecuación de Freundlich.

(A temperatura constante)

X= Cantidad de impureza adsorbida.

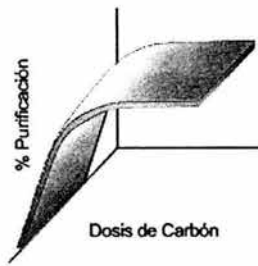
M= Dosis de carbón.

C= Concentración residual de la Impureza.

K,n= Constantes.

Resulta interesante recalcar que si se graficaran para una determinada aplicación los datos de dosis del carbón vs. el porcentaje de impureza removida, se obtendría una gráfica similar a ésta:

Figura 2.4 Grafica de Dosis de carbón vs. % de impureza removida



Donde se pueden observar que existe un rango en el cual el carbón activado es eficiente, pero llega el momento en que aunque se agregue más carbón, la ganancia en remoción es cada vez menor.

Un carbón activado normalmente adsorbe entre un 10% y un 60% de su peso en impurezas. Desafortunadamente en FASE LIQUIDA es común que la impureza a remover sea en realidad una mezcla de compuestos, y rara vez se conoce su composición exacta.

Por esto, la realización de las Isotermas tiene una gran importancia. Cabe aclarar que por lo mismo, la Isoterma será sólo aplicable a las condiciones bajo las cuales se realizó, y al cambiar cualquiera de ellas, la Isoterma puede cambiar significativamente.

Resulta obvio que para que un compuesto sea absorbido por el carbón activado sus moléculas deben penetrar los poros del mismo, en consecuencia, los poros del carbón deben tener un diámetro mayor que el de las moléculas de la Impureza.

Se ha visto que en FASE LIQUIDA la mayoría de las impurezas son moléculas medianas y grandes que a su vez requieren de carbones con una gran cantidad de poros medios.

Al ser la adsorción un proceso en equilibrio, cualquier impureza que tenga afinidad con el producto en el que está presente, dificultará la adsorción. Por ejemplo: un contaminante altamente soluble en el medio que se encuentra será más difícil de absorber que uno de solubilidad media o baja.

Dentro del proceso de absorción uno de los pasos normalmente más críticos es la difusión de las impurezas a remover hacia la superficie externa del carbón, por esta razón cualquier variable que afecte la difusividad, puede también tener un efecto sobre la adsorción.

Variables que afectan la adsorción en fase líquida

Temperatura: Una mayor temperatura generalmente permite llegar al equilibrio más rápidamente; sin embargo, la cantidad de impureza adsorbida es menor. Esto quiere decir que si el tiempo no fuera importante, se podría lograr una mayor adsorción a menor temperatura; lo cual rara vez es práctico a nivel industrial, por lo que aumentar la temperatura- cuando es posible- normalmente resulta benéfico.

pH: Muchos compuestos que provocan color, varían su estructura y su color al cambiar el PH. En la mayoría de los casos la decoloración a pH más bajos es más eficiente por 2 razones:

- Los compuestos que generan color normalmente tiene una alta dependencia con el pH, siendo menos intenso a pH menor.
- La adsorción es más eficiente a pH más bajo.
- Cuando no tienen certeza del comportamiento, es mejor modificar el pH y buscar un carbón activado con pH cercano al del proceso.

Tamaño de partícula del carbón: Como ya se mencionó, el área del carbón es interna y en consecuencia el tamaño de la partícula no tiene efecto sobre la capacidad de adsorción del carbón. Sin embargo, sí tiene efecto sobre la velocidad para alcanzar el equilibrio.

Por ejemplo: En una aplicación determinada probablemente se requerirán varias horas de contacto usando carbón granular, para obtener el mismo resultado que se tendría usando carbón pulverizado y 30 minutos de contacto. Las desventajas de una menor partícula son:

- En el caso de carbones granulares: Mayor caída de presión.
- En el caso de carbones pulverizados: Menor Filtrabilidad.

Pureza de un carbón: cenizas

Las cenizas son compuestos inorgánicos presentes en la materia prima de la cual se partió para elaborar el carbón activado y que no alcanzan a volatilizarse durante la activación.

El contenido de cenizas suele asociarse con la calidad de un carbón; sin embargo, esto no es del todo cierto ya que en realidad lo importante, es la parte de las cenizas que es soluble en el producto que se está purificando.

En muchas aplicaciones las cenizas no son importantes; sin embargo existen algunos procesos en los que la presencia de compuestos inorgánicos, por ejemplo calcio, magnesio, fierro, etc., pueden ocasionar alguna reacción indeseable.

Purificación en fase gaseosa

Los carbones activados para aplicaciones en fase gaseosa son usados en gran escala, en la purificación de aire, purificación de gases de proceso, recuperación de solventes, protección ambiental y como catalizador.

La naturaleza y concentración del contaminante, junto con las condiciones específicas del proceso determinan que tipo de carbón debe utilizarse, generalmente debido a que el tamaño de las moléculas de los vapores es relativamente pequeño, se requiere del uso de carbones microscópicos. En algunas aplicaciones, la actividad del carbón es mejorada impregnándole con agentes catalíticos o quimiadsortivos.

La adsorción en fase gas, se lleva a cabo por condensación del vapor, como resultado de la interacción entre la superficie del carbón y el vapor, siendo ésta una reacción exotérmica.

La ecuación de DUBININ relaciona la capacidad de adsorción en equilibrio para un cierto tipo de carbón a una determinada temperatura, con la concentración de vapor existente en la corriente de gas que requiere ser purificada.

Los Parámetros más importantes de los que depende el buen desempeño de los carbones activados en fase gas son:

1.- Concentración del Adsorbato

Solo cuando la corriente de vapor a tratar esté completamente saturada, todos los poros del carbón se llenarán con el adsorbato. Entre más baja sea la concentración del adsorbato solo los microporos más pequeños poseen la energía de adsorción suficiente para adsorberlo.

2.- Temperatura de adsorción

En términos generales a mayor temperatura se reduce la capacidad de adsorción debido a:

Contenido de Energía

A mayor temperatura se incrementa el contenido de energía, por lo que el adsorbato requiere de mayor energía para mantenerse en estado líquido, lo que influirá de manera directa en el equilibrio de adsorción.

Presión de Vapor Saturado

A mayor temperatura se incrementa la presión de vapor por lo que es más difícil mantener al adsorbato en estado líquido.

Densidad del Adsorbato

La densidad del adsorbato disminuye al aumentar la temperatura

3.- Naturaleza del Adsorbato

Mientras más compleja sea la mezcla de adsorbato a tratar con mayor facilidad será adsorbida.

4.- Punto de Ebullición del Adsorbato

Entre más alto es el punto de ebullición del adsorbato se requiere de un carbón con mayor grado de actividad.

5.- Humedad relativa del carbón

Una alta humedad relativa conduce a un alto contenido de humedad en el carbón lo que inhibe fuertemente su capacidad de adsorción.

2.1.2 PROCESOS QUÍMICOS

El tratamiento químico se refiere a la corrección del pH del agua, a la reducción de la dureza, a la eliminación de los elementos nocivos o al agregado de ciertos productos químicos, buscando siempre mejorar la calidad del agua.

La corrección del pH puede hacerse agregando cal o carbonato de sodio, antes o después de la filtración. La reducción de la dureza, puede hacerse por métodos simples(cal, soda, Zeolita o resinas) o métodos compuestos (cal-soda; cal zeolita, cal-resinas). La eliminación de elementos nocivos puede referirse a bajar los contenidos excesivos de hierro, manganeso, fluor, arsénico o vanadio.

2.1.2.1 INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil, ver Fig. 2.5. Este proceso tiene lugar constantemente en la naturaleza, tanto en la materia inorgánica como en las células vivas.

La aportación más importante al desarrollo del intercambio iónico fue la síntesis de resinas orgánicas, realizada en 1935 por los químicos Basil Adams y Eric Holmes⁵ del Departamento de Investigación Científica e Industrial (Reino Unido). Desarrollaron polímeros orgánicos que imitaban a las zeolitas mediante la reacción de condensación entre el fenol y formaldehído. Sustituyendo el fenol por derivados de éste, como fenoles polihídricos o por diaminas aromáticas, se dio paso a las resinas de intercambio catiónicas o aniónicas. Posteriormente, Holmes produjo una resina catiónica fuerte a partir del ácido fenolsulfónico. Las primeras resinas Amberlita (Rohm and Hass) y Dowex (Dow Chemical Co.) se basaban en esta química.

A finales de la II Guerra Mundial, se desarrollaron polímeros intercambiadores de iones sintetizados mediante reacciones de adición, cuya estabilidad química y térmica era mayor que las resinas de condensación. El pionero de este trabajo fue Gaetano D'Alelio, que incorporó grupos de ácido sulfónico a un polímero de estireno entrecruzado con divinilbenceno (copolímero estireno-divinilbenceno), dando lugar a las resinas catiónicas de ácido fuerte. Unos años más tarde, en 1947, McBurney⁵ produjo las resinas aniónicas de base fuerte, cuyo grupo funcional era un amino cuaternario. El uso del copolímero estireno-divinilbenceno como matriz para enlazar grupos con capacidad intercambiadora, supuso una tremenda expansión en los procesos de intercambio iónico. De hecho, la mayoría de las resinas que se emplean actualmente tienen como matriz este copolímero.

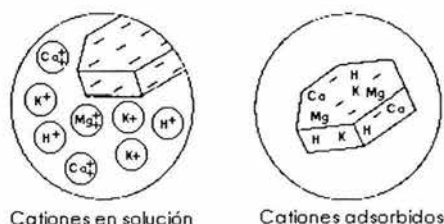
Un paso más en el desarrollo de los intercambiadores iónicos fue la búsqueda de especificidad. En 1948, Skogseid⁵ produce la primera resina específica para un metal, potasio, y a partir de este momento los investigadores basaron sus esfuerzos en incorporar a la matriz de la resina distintos grupos funcionales que aumentasen su selectividad por un determinado compuesto, desarrollando así las resinas quelatantes.

Desde, entonces se ha continuado la investigación y el desarrollo en nuevas estructuras poliméricas (macro porosas, poli acrílicas, tipo gel) dando lugar a una serie de modernas resinas de intercambio iónico, cuyo empleo en el campo de aplicaciones industriales ha sido enorme.

Por sus propiedades como disolvente y su utilización en diversos procesos industriales, el agua acostumbra a tener muchas impurezas y contaminantes. Las sales metálicas se disuelven en el agua separándose en iones, cuya presencia puede ser indeseable para los usos habituales del agua. Además, el creciente interés por el medio ambiente, impone establecer tratamientos eficaces que eviten el deterioro de la calidad de las aguas, especialmente por el vertido de efluentes industriales altamente contaminados. Entre todos los tratamientos posibles, el intercambio iónico es una opción a considerar.

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

Figura 2.5 Intercambio Iónico

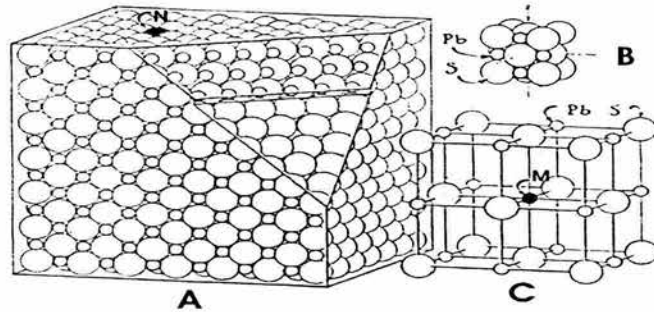


Teorías de intercambio iónico

Existen tres teorías que tratan de explicar el porque de este fenómeno:

Red cristalina: Considera las partículas de los minerales como sólidos iónicos. Los iones de los bordes están débilmente retenidos por lo que pueden abandonar la estructura y pueden cambiarse con los de la solución del suelo, en la Fig. 2.6, se esquematiza la teoría de Red. cristalina.

Figura 2.6 Red cristalina

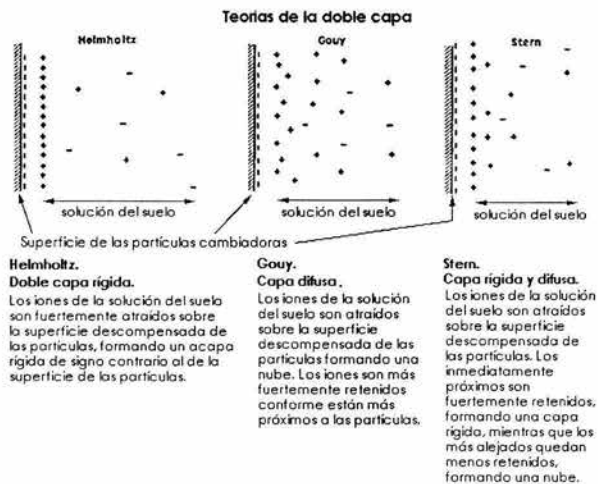


La estructura de un mineral (A) está constituida por un empaquetamiento de átomos, iones o moléculas, con un determinado modelo de repetición (B y C). Cualquier ión del interior de la estructura (ión M de la figura C) está completamente rodeado de iones de signo contrario con una determinada coordinación, de manera que su carga está compensada y el material es eléctricamente neutro. Ahora bien, los iones situados en la superficie se encuentran desequilibrados eléctricamente al no estar rodeados por todos sus lados por otros iones (el ión N de la figura A se encuentra coordinado a iones por la parte inferior, pero carece de coordinación por su parte superior). Estos iones de la superficie se encuentran más débilmente retenidos y pueden intercambiarse con los de la solución del suelo.

Berry y Mason, 1966. Mineralogía, Ed Aguilar.

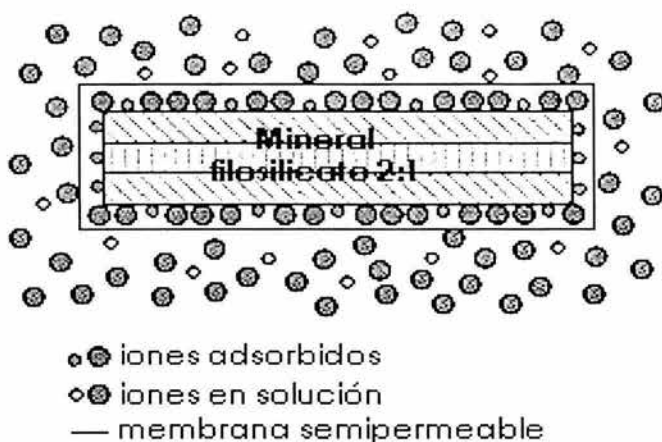
Doble capa eléctrica: Considera el contacto entre el sólido y la fase líquida como un condensador plano. Entre el metal (el sólido) y el electrolito (la disolución) existe una diferencia de potencial que atrae a los iones de la solución del suelo. Se forma una doble capa eléctrica formada por los iones del sólido y los atraídos en la solución. La Fig. 2.7, muestra la teoría de Doble capa eléctrica.

Figura 2.7 Doble capa eléctrica



Membrana semipermeable: La interfase sólido-líquido actúa como una membrana semipermeable que deja pasar los iones de la solución y a los de la superficie de las partículas pero, no a los del interior de los materiales. La Fig. 2.8 muestra la teoría de Membrana semipermeable.

Figura 2.8 Membrana semipermeable



La interfase sólido / líquido actúa como una membrana semipermeable que deja pasar a los iones de la solución y a los adsorbidos en la superficie de las partículas sólidas, pero no a los situados en el interior del material.

Básicamente las tres teorías son compatibles y simplemente se trata de enfoques distintos:

- Iones débilmente retenidos para la teoría cristalina.
- Desequilibrios eléctricos para la teoría de la doble capa eléctrica.
- Diferentes concentraciones para la teoría de la membrana semipermeable.

En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes. Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica (los dos materiales presentan propiedades coloidales). Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas se muestran en las Figuras 2.9, 2.10 y 2.11.

Figura 2.9 Sustituciones atómicas dentro de la red como mecanismo de intercambio iónico en una arcilla

El aluminio dioctaédrico abandona la estructura del mineral y al ser sustituido por un magnesio se crea un déficit de carga que atrae a un catión monovalente que queda en posición de cambio.

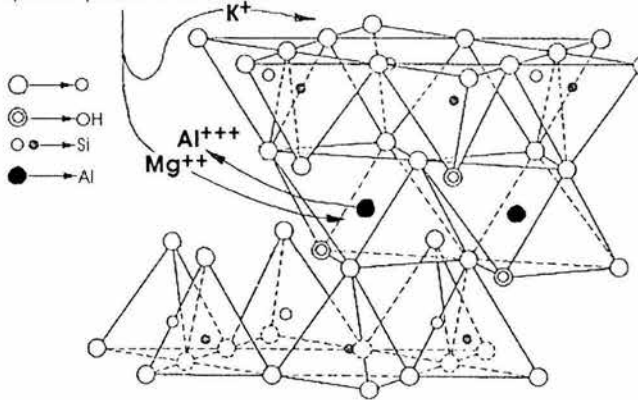
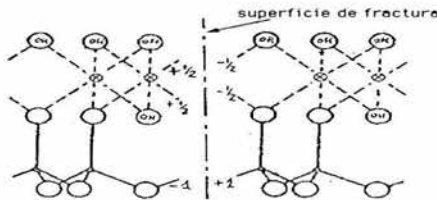
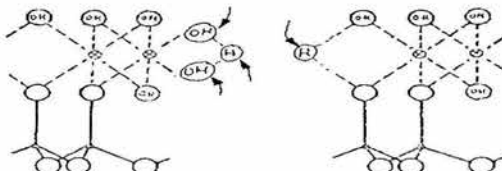


Figura 2.10 Existencia de bordes como mecanismo de intercambio iónico en una arcilla

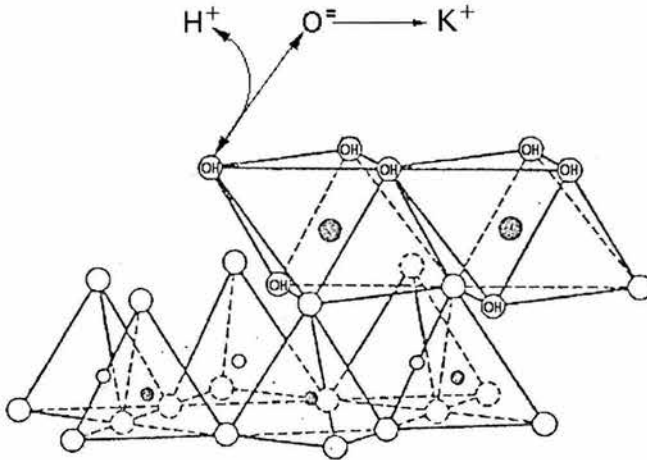


Las superficies de los minerales son áreas de desequilibrios eléctricos (un ión del interior del mineral se encuentra equilibrado, pero un ión del borde no lo estará al no estar completamente rodeado de iones del signo contrario). Por ejemplo si fracturamos un mineral del tipo de la caolinita se crean unos déficit en la superficie de fractura.



Estos déficit atraen a iones para neutralizar y quedan en posición de cambio.

Figura 2.11 Disociación de los OH de las capas básicas como mecanismo de intercambio iónico en una arcilla.



Los suministros de agua natural contienen 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 los sistemas de enfriamiento y calefacción, generación de vapor, y manufactura. Los iones comunes que se encuentran en la mayoría de las aguas incluyen los cationes de carga positiva; calcio y magnesio—cationes que generan dureza, los cuales hacen que el agua sea “dura”—y sodio. Los aniones de carga negativa incluyen alcalinidad, sulfato, cloruro, y silicio.

Resinas de intercambio iónico: Las resinas de intercambio iónico son particularmente adecuadas para la eliminación de estas impurezas por varias razones: las resinas poseen una alta capacidad para los iones que se encuentran en bajas concentraciones, las resinas son estables y se regeneran fácilmente, los efectos de la temperatura son en su mayoría insignificantes, y el proceso es excelente tanto para grandes como pequeñas instalaciones, por ejemplo, desde suavizadores de agua para el hogar hasta grandes instalaciones de servicios. La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenzeno (DVB).

El estireno y DVB, ambos líquidos en un principio, se colocan en un reactor químico con más o menos la misma cantidad de agua. Asimismo está presente un agente flotador para mantener todo disperso. El reactor químico tiene un agitador que comienza a mezclar la solución de agua/sustancia química orgánica. El estireno/DVB comienza a formar grandes glóbulos de material, y al aumentarse la velocidad de agitación, los glóbulos se dividen en gotitas más pequeñas hasta alcanzar un tamaño de más o menos un milímetro. En ese momento inicia la reacción de

polimerización a través de la adición de peróxido de benzoilo, el cual hace que las moléculas de estireno/DVB formen las esferas pequeñas de plástico que resultan.

Cada grupo activo posee una carga eléctrica fija, la cual es balanceada por un número equivalente de iones de carga opuesta, los cuales tienen la libertad de intercambiarse con otros iones de la misma carga.

Las resinas catiónicas fuertes se forman tratando a las esferas con ácido sulfúrico concentrado (un proceso conocido como sulfonación) para formar grupos sulfónico-ácidos permanentes, de carga negativa, a través de las esferas. Aquí es importante el hecho de que los sitios de intercambio formados de tal manera se encuentran ubicados a través de la esfera. El proceso de intercambio iónico no es un fenómeno de superficie; más del 99% de la capacidad de un material de intercambio iónico se encuentra en el interior de la esfera.

Las resinas aniónicas fuertes se activan en un proceso de dos pasos que consiste en la clorometilación seguida de la aminación. Este proceso de dos pasos comienza con el mismo material de estireno/DVB que se usa para las resinas catiónicas. La única diferencia es que la cantidad de DVB que se utiliza es menor para permitir una esfera más porosa.

El primer paso de la reacción es la ligación de un grupo de clorometilo a cada uno de los anillos de benceno en la estructura de la esfera. Este material plástico intermedio clorometilado debe reaccionar con una amina en un proceso conocido como aminación. El tipo de amina utilizada determina la funcionalidad de la resina. Una amina comúnmente utilizada es la trimetilamina (TMA), que crea un intercambiador aniónico fuertemente básico de Tipo 1. El uso de dimetiletanolamina (DMEA) producirá una resina aniónica de Tipo 2.

Estructura física de las resinas: Los requisitos básicos de los materiales de las esferas de intercambio iónico son la insolubilidad, el tamaño de la esfera, y su resistencia a las fracturas. La resina deberá ser insoluble bajo condiciones normales de funcionamiento. Las esferas deberán tener dimensiones uniformes con un tamaño normal que varía entre 16 y 50 "US Mesh" (tamaño estadounidense de malla).

El hinchamiento y contracción de la esfera de resina durante el agotamiento y la regeneración no deberán causar que revienten las esferas. Asimismo, una propiedad importante de las resinas de intercambio iónico es que el sitio activo se encuentra permanentemente ligado a la esfera. Las resinas de intercambio iónico pueden ser fabricadas en una de dos estructuras físicas, gelatinosa o macro porosa.

Resinas gelatinosas: Las resinas gelatinosas son polímeros homogéneos entrecruzados y son las resinas más comúnmente disponibles. Estas tienen sitios de intercambio distribuidos de manera pareja a través de la esfera. La cantidad de entrecruzamiento de DVB que se utiliza en la síntesis de una esfera determina su fortaleza relativa. La resina catiónica de ácido fuerte que se usa para la suavización, la cual es el medio más común de intercambio iónico, consiste casi siempre de un material gelatinoso de 8% DVB. Se ha comprobado que la cantidad de DVB que contiene esta resina es la más económica en términos de precio de la resina y duración esperada de funcionamiento. Actualmente se encuentran disponibles resinas con un contenido de DVB entre 2% y 20% y aún más. Un mayor contenido de DVB le da aun más fortaleza a la resina, pero el entrecruzamiento adicional

puede obstruir la cinética, haciendo que la esfera sea demasiado resistente a la contracción e hinchamiento que son necesarios durante el funcionamiento normal.

Resinas macro porosas: Las resinas macro porosas fueron introducidas comercialmente en 1959 y están hechas con grandes poros que permiten el acceso a sitios interiores de intercambio. También se conocen como resinas macro reticulares o de poros fijos. Las resinas macro porosas son fabricadas a través de un proceso que deja una red de vías a través de la esfera. Esta estructura con apariencia esponjosa permite que la porción activa de la esfera contenga un nivel elevado de entrecruzamiento de DVB sin afectar la cinética del intercambio. Desafortunadamente, también significa que la resina tiene una menor capacidad porque las esferas contienen menos sitios de intercambio. Los “poros” pueden ocupar entre 10% y 30% del polímero. Esto reduce proporcionalmente la capacidad de intercambio iónico.

Las resinas gelatinosas por lo general tienen mayores eficiencias de funcionamiento y son de menor costo. Un macro poro proporciona mejor estabilidad física, principalmente debido a su estructura con apariencia esponjosa, que libera la presión de mejor manera. Asimismo elimina parte del rompimiento que puede ocurrir debido a la presión osmótica. Mientras mayor sea el área en una resina aniónica macro porosa, mejor será su resistencia a la incrustación. En una resina catiónica, un mayor nivel de entrecruzamiento proporciona mejor resistencia a la oxidación.

Estructura química de las resinas: Existen dos tipos principales de estructuras químicas, estirénicas y acrílicas. Los materiales a base de estireno descritos anteriormente son hidrocarburos aromáticos.

Las resinas acrílicas son hidrocarburos de cadena recta basadas en poli acrilato y polimetacrilato. El DVB aún se utiliza como entrecruce en estas resinas, pero los acrílicos difieren de los estirénicos en que el sitio de intercambio activo es parte de la estructura física. Esto significa que sus estabilidades físicas y químicas están entrecruzadas. Cuando una resina acrílica se degrada químicamente, ocurre por lo general en el sitio de intercambio, que es el eslabón más débil. Esto destruye la estructura física. Cuando se oxida una resina acrílica, ésta se hinchará y ablandará. Otra desventaja de los materiales acrílicos es que no están totalmente aprobados por la Asociación de Alimentos y Drogas de EU. Por lo tanto, están por lo general limitados a aplicaciones industriales. Es recomendable el uso de los acrílicos en aplicaciones donde existen materias orgánicas, porque no causan tanta incrustación como los productos a base de estireno.

Selectividad de resinas: La selectividad o afinidad de resinas de intercambio iónico es influida por las propiedades de la esfera, los iones intercambiados, y la solución en la cual están presentes los iones. El agua es un componente esencial en las resinas de intercambio iónico. Por ejemplo, las resinas catiónicas de ácido fuerte contienen más o menos 50% de humedad. La cantidad de entrecruzamiento de la esfera tiene un impacto sobre el contenido de humedad de la esfera, y por su parte, el contenido de humedad tiene un impacto sobre la selectividad. Una esfera con un alto contenido de humedad tiene alta porosidad y los grupos activos se encuentran más separados uno del otro. Las resinas de intercambio iónico por lo general tienen una mayor selectividad hacia los iones de mayor valencia o carga. Entre los iones con una misma carga se encuentran mayores afinidades hacia los iones con un número atómico más alto. Estas relaciones de afinidad son revertidas en soluciones concentradas. Esto es lo que hace posible la regeneración de las resinas agotadas. Una resina catiónica agotada que se utiliza para suavizar por lo general se encuentra en forma de calcio o magnesio, de los

cuales ambos son iones bivalentes. La resina es restaurada a su condición regenerada, la forma del sodio, introduciendo una solución de 10% de cloruro de sodio. Esta solución de cloruro de sodio se encuentra lo suficientemente concentrada—100,000 partes por millón (ppm)—como para revertir la selectividad. La fuerza impulsadora del Ion monovalente de sodio luego convierte la resina a la forma de sodio.

Cinética: La tasa de intercambio, o cinética, de las reacciones de intercambio iónico es gobernada por varios factores. La solución que está siendo tratada tiene un efecto; las concentraciones más altas de solución pueden acelerar la velocidad de la reacción. La cantidad de entrecruzamiento de DVB en la esfera determina la porosidad de la esfera y, además, la movilidad iónica dentro de la esfera. El tamaño de los iones que están siendo intercambiados también influye en la velocidad cinética y depende de tanto del tamaño de los poros en la estructura de la resina. El tamaño de la esfera también tiene un efecto; las esferas más pequeñas presentan una vía de difusión más corta hacia los sitios activos en la parte interior de las esferas. La resina tiene una mayor afinidad hacia los iones de mayor valencia, por lo que el predominio de iones de alta valencia puede causar una mayor tasa de reacción.

Otros elementos que influyen son la temperatura, la forma iónica de los sitios de intercambio, y la fortaleza de los sitios de intercambio. Una mayor temperatura puede acelerar las reacciones químicas. La reacción de intercambio es un proceso de difusión, por lo que la tasa de difusión en el sitio de intercambio iónico tiene algún efecto. Además, la fortaleza del sitio de intercambio, ya sea fuerte o débilmente ácido o básico, afecta la tasa de reacción. Tipos de resinas de intercambio iónico Resinas catiónicas de ácido fuerte: Las resinas catiónicas fuertemente ácidas derivan su funcionalidad de los grupos ácidos sulfónicos. Estos intercambiadores catiónicos de ácido fuerte funcionan a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales, y requieren una cantidad sustancial de regenerante. Esta es la resina que se escoge para casi todas las aplicaciones de suavizado y como primera unidad en un desmineralizador de dos lechos, o como componente catiónico de un lecho mixto.

Resinas catiónicas de ácido débil: Las resinas catiónicas débilmente ácidas contienen grupos carboxílicos como sitios de intercambio. La resina es altamente eficiente, ya que es regenerada con casi 100% de la cantidad estequiométrica de ácido, comparado con el 200% a 300% requerido para los cationes de ácido fuerte. Las resinas catiónicas débiles están sujetas a una menor capacidad por un aumento en la velocidad de flujo, temperaturas bajas, y una proporción entre la dureza y la alcalinidad menor de 1.0. Se utilizan muy efectivamente en combinación con una resina catiónica de ácido fuerte que funciona en forma de hidrógeno, ya sea en configuración de lecho separado o lecho estratificado. En ambos casos, el agua influente se pone en contacto con la resina catiónica de ácido débil donde se eliminan los cationes que están asociados con la alcalinidad. Los cationes restantes son eliminados por la resina catiónica de ácido fuerte. La resina catiónica de ácido débil es regenerada con el ácido de desecho de la unidad de ácido fuerte, proporcionando un arreglo muy económico.

Resinas aniónicas de base fuerte: Las resinas aniónicas de basicidad fuerte derivan su funcionalidad de los sitios de intercambio de amonio cuaternario. Los dos grupos principales de resinas aniónicas de base fuerte son las de Tipo 1 y Tipo 2, dependiendo del tipo de amina que se utiliza durante el proceso de activación química. Químicamente, los dos tipos difieren en el tipo de especie de sitios de intercambio de amonio cuaternario que exhiben: los sitios de Tipo 1 tienen tres grupos de metilo; en los de Tipo 2, un grupo de etanol reemplaza a uno de los grupos de metilo. Las

resinas de Tipo 1 son adecuadas para la eliminación total de aniones en todas las aguas. Son más difíciles de regenerar y se hinchan más al pasar de la forma de cloruro a la de hidróxido que las de Tipo 2. Son más resistentes a altas temperaturas y deben ser usadas en aguas de alta alcalinidad y alto contenido de silicio. Las resinas de tipo 2 también presentan la eliminación de todos los aniones, pero pueden ser menos efectivas en eliminar el silicio y dióxido de carbono de las aguas donde estos ácidos débiles constituyen más del 30% del total de aniones. Los aniones de Tipo 2 brindan mejores resultados en aguas que contienen predominantemente ácidos de minerales libres—cloruros y sulfatos—como en el efluente de una unidad de catión seguida por un descarbonador.

Las resinas de Tipo 2 que funcionan en forma de cloruro son típicamente usadas en desalcalinizadores.

2.1.3 PROCESOS BACTERIOLÓGICOS

El tratamiento bacteriológico se refiere casi exclusivamente a la desinfección del agua, en la actualidad se pueden utilizar diferentes métodos para este fin, siendo utilizado principalmente el cloro. Pudiéndose utilizar cloro puro, sales clorogenas o hipocloritos. Las dosis a utilizar generalmente se fijan en base al cloro residual, cuyo valor debe estar entre 0.05 mg/L y 0.1 mg/L para quedar a cubierto de cualquier contaminación secundaria¹.

2.1.3.1 DESINFECCIÓN

Desinfección, en su sentido literal, son los medios que liberan de la infección. La Agencia de Protección Ambiental de U.S.A. (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) define la desinfección del agua como tener una ausencia de bacterias coliformes. La esterilización implica destrucción completa de toda forma de vida.

El beneficio principal del agua potable desinfectada es la protección de la salud pública, a través del control de las enfermedades transmitidas por el agua. Desempeña una función primordial ya que controla los agentes patógenos en el agua que causan las enfermedades, tal como ocurre en los países desarrollados en que están virtualmente ausentes las enfermedades transmitidas por el agua, tales como la tifoidea y el cólera.

Características de un desinfectante:

Para que sean de utilidad práctica, los desinfectantes del agua deben poseer las siguientes propiedades.

- Destrucción de microorganismos patógenos dentro de un lapso aceptable de tiempo a una gama aceptable de temperatura y fluctuaciones en composición, concentración y composición del agua sujeta a tratamiento.
- Las concentraciones requeridas no deben ser tóxicas al hombre ni a los animales domésticos, ni de sabor desagradable u objetable.
- Debe ser aplicable a un costo razonable.

- Debe ser seguro y fácil de almacenar y de transportar, manipular y aplicar.
- Su concentración en el agua tratada debe determinarse con facilidad y rapidez, de preferencia en forma automática.
- Debe de persistir en el agua desinfectada con concentración suficiente para proporcionar una concentración residual razonable, contra la posible recontaminación del agua antes de usarse.

El método más común para evaluar la calidad microbiológica del agua es mediante la prueba de coliformes. La EPA ha propuesto la cuenta estándar en placa como método de rutina para la evaluación de crecimiento y análisis de estas bacterias.

Mecanismo de acción de los desinfectantes

Los diferentes mecanismos que se han propuesto para explicar la acción de los desinfectantes son principalmente:

- Daño a la pared celular
- Alteración de la permeabilidad de las células (fenol, detergentes)
- Alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma (calor, irradiación)
- Inhibición de la actividad enzimática (cloro, bromo, agentes oxidantes)

Agentes como los compuestos fenólicos y los detergentes alteran la permeabilidad de la membrana citoplásmica, estas sustancias destruyen la permeabilidad selectiva y permiten que escapen nutrientes vitales como nitrógeno y fósforo.

El calor, la radiación y los agentes básicos o ácidos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor coagula las proteínas de las células y los ácidos y bases las desnaturalizan, produciendo un efecto letal.

Los agentes oxidantes tales como el cloro, pueden alterar los arreglos químicos de las enzimas desactivándolas. El ozono ataca directamente la pared celular desintegrándola.

La tabla 2.4, muestra los desinfectantes más comunes, su mecanismo de acción y su eficiencia germicida.

Tabla 2.4 Desinfectantes más comunes

Desinfectante	Mecanismo de acción	Eficiencia germicida
Ácido hipocloroso (HClO)	Penetración de pared celular	Alta
Ion hipoclorito	Baja penetración de la pared celular debido a su carga eléctrica negativa	Baja 80% de la del HClO
Monocloroaminas	Forma de acción electroquímica	Baja 25% de la del HClO
Dicloroamina	Forma de acción electroquímica	Baja 25% de la del HClO
Tricloroamina	Efectivo agente oxidante	Eficiencia bactericida (no ha sido evaluada)
Dióxido de cloro	Inhibidor de síntesis de proteínas	Mayor que la del cloro
Ozono	Desintegración de la pared celular	Más potente que el cloro en factor de 10-100, para bacterias, quistes virus y esporas
Radiación ultra violeta (UV)	Inhibe el proceso de reproducción Alteración de material genético	Eficiente bactericida

Métodos de desinfección

El agua puede ser desinfectada por un gran número de procesos en nuestras casas (calor Yodo, luz solar, tabletas, etc.) pero para efectos de grandes caudales se pueden utilizar principalmente los t procesos que se describen a continuación.

a) Agentes químicos

Halógenos (cloro y sus compuestos, bromo, yodo)

Ozono

Compuestos metálicos

Álcalis y ácidos

Detergentes

Fenol

alcoholes

b) Agentes físicos

Calor

Radiación UV

Sonido

a) Agentes químicos

La desinfección del agua por agentes químicos se logra poniendo en contacto el agua a desinfectar con los diferentes compuestos químicos, a la concentración adecuada y con el tiempo suficiente de reacción.

Bromo: El bromo es un alógeno de color café rojizo oscuro que existe como líquido a presión atmosférica produce vapores muy irritantes y causa severas quemaduras al contacto con la piel.

El bromo es un agente germicida ligeramente soluble en agua y se cuenta con las técnicas analíticas para determinar su acción residual. Al igual que el cloro el bromo forma aminas en presencia de amoníaco y otros materiales nitrogenados trivalentes y se ha observado la presencia de un fenómeno similar al del punto de quiebre.

La aplicación del bromo como desinfectante esta limitada a las aguas residuales y a las albercas. Tiene ciertas ventajas el uso de este químico como desinfectante:

- Ciertas formas de bromo son más fáciles de almacenar y de manejar que el cloro
- La eficiencia bactericida de las bromoaminas
- Hay una aparente reducción de la irritación de los ojos
- No tiene problemas de olores

Yodo: se utiliza principalmente para la desinfección de albercas y de pequeñas cantidades de agua potable. Cuando el yodo se disuelve en agua, este puede permanecer en su forma elemental o hidrolizarse a ácido hipoyodoso (HIO) dependiendo del pH y de la concentración molar del yodo elemental.

Tanto el yodo elemental como el ácido hipoyodoso son potentes germicidas, aunque se requiere de mayor cantidad de estos para lograr una eficiencia parecida a la del cloro. El uso del yodo como agente desinfectante tiene algunas ventajas y ciertas desventajas:

Ventajas:

- El efecto bactericida no es afectado significativamente por el pH.
- Los compuestos orgánicos de nitrógeno y amoníaco tienen poca influencia en la potencia germicida, ya que estos no forman compuestos de sustitución con el yodo.
- No hay problemas de olores, sabores, irritación de los ojos y de la piel cuando se usa adecuadamente en albercas.

Desventajas:

- Se requiere de mayores concentraciones en comparación con el cloro
- La calidad visual del agua se ve afectada por el ligero color y sabor del yodo
- Los efectos del uso prolongado, especialmente en los niños no ha sido determinado
- El costo es alto si se compara con el cloro 820 veces mayor que el cloro por unidad de potencia germicida)
- El proceso es menos flexible que algunos otros con respecto a ajustarse en las variaciones de flujo y calidad del agua.

Álcalis y ácidos: Las bacterias patógenas normalmente no sobreviven mucho tiempo en aguas alcalinas o ácidos. Aunque su uso como desinfectante es muy limitado, la aplicación de ciertos materiales para control de la corrosión, pH, ablandamiento por cal, etc. Puede causar una reducción parcial de algunos organismos en el agua, especialmente cuando no se dispone de largos periodos de contacto.

Detergentes: Los detergentes catiónicos son altamente germicidas no así los aniónicos, los detergentes neutros ocupan una posición intermedia. El costo de este tratamiento es 70 veces mayor que el de cloro.

Estos compuestos no se han considerado de manera formal para la desinfección de agua potable, por que las limitaciones implicadas son muchas, los efectos tóxicos, los sabores desagradables, etc. Su uso es principalmente en albercas, y como alguicidas para controlar el crecimiento en sistemas de enfriamiento de uso industrial.

Desinfección con Ozono (O₃): El ozono es una molécula de carácter oxidante formada por tres átomos de oxígeno. Su uso se ha ido generalizando con el paso del tiempo en la desinfección de aguas, área donde muestra gran eficacia. Sus principales ventajas son que no deja residuos químicos y no confiere aromas u olores particulares al producto final, como ocurre con otros desinfectantes como el hipoclorito.

La desinfección con ozono no genera subproductos químicos ni olores o aromas molestos. En virtud de sus propiedades, últimamente se ha venido sugiriendo el uso de ozono en la desinfección de algunos alimentos, especialmente carne y pescado, puesto que sólo hay que proceder a realizar un duchado con agua previamente ozonizada. Del mismo modo, algunos autores proponen su posible empleo como desinfectante de algunas superficies industriales.

No obstante, la presencia de materia orgánica actúa como factor limitante de su efectividad debido precisamente a su carácter oxidante. Su empleo exigiría una imprescindible limpieza previa pero dado que los alimentos se componen fundamentalmente de materia orgánica, la eficacia de la desinfección con ozono siempre sería limitada. Contrariamente al efecto buscado, la reactividad del ozono puede inducir una más rápida oxidación de las grasas y, como consecuencia, acelerar la alteración del producto.

El empleo del ozono no es nuevo. Ya en 1955 se consideró la posibilidad de su utilización como antiséptico, aunque no ha sido hasta estos últimos años que su uso ha empezado a generalizarse en algunas áreas.

El sistema de producción de ozono se basa en la acción de una chispa eléctrica en presencia de alta concentración de oxígeno. En estas condiciones se forma O₃ activo, el cual puede disolverse en líquidos o en gases. Una vez producido el ozono, se le hace burbujear en el agua a tratar, disolviéndose en ella.

Hay diversa información sobre los niveles de ozono que se consideran eficaces. Sin embargo, se considera que su eficacia es dependiente de la concentración, del tiempo de contacto y, como se ha señalado, de la concentración de materia orgánica. En general, tomando como referencia *Escherichia*

coli como contaminante fecal, la concentración suficiente sería de $9\frac{1}{4}$ g O₃/L de agua, asegurando esta concentración durante un tiempo de contacto no inferior a 10 minutos⁶.

La capacidad oxidante del ozono provoca una intoxicación que conduce a la muerte de los microorganismos. Los parámetros citados deben considerarse un valor general, puesto que la eficacia depende también de la cepa microbiana y su resistencia a las condiciones oxidantes. Los microorganismos esporulados, los mohos y las levaduras son los que manifiestan una mayor tolerancia. En estos casos, la concentración necesaria para reducir 7 logaritmos de recuento deberá ser superior a $100\frac{1}{4}$ g O₃/L, en un tiempo de contacto comprendido entre 5 y 10 minutos.

En el cálculo temporal debe valorarse, además, la demanda de O₃ que tenga el agua, ya que no todo el ozono se consume en acción desinfectante. Como hemos señalado, la materia orgánica es una consumidora nata de oxígeno y de ozono, ya que se oxida con facilidad durante su degradación. Esto obliga a calcular la cantidad presente, para recalcular la concentración de ozono que nos asegure una cantidad suficientemente activa del mismo.

La capacidad desinfectante del ozono se basa en su potencial oxidante, produciendo una intoxicación intracelular que conduce a la muerte de los microorganismos. Consecuentemente, cuanto más sucia esté el agua (cuanto menos efectivos hayan sido los sistemas de depuración), menos efectivo será el ozono, por lo que mayor debe ser la concentración para lograr resultados óptimos.

De idéntica manera, la temperatura del agua, la agitación, los sistemas de aporte de ozono, etc., pueden variar substancialmente los tiempos de contacto necesarios, debido a la facilidad para producir y disolver ozono en el agua de tratamiento. Así, si la temperatura del agua es baja, se favorece especialmente la acción germicida del ozono, ya que a mayor temperatura el ozono se volatiliza (o inestabiliza) con lo que se pierde la eficacia por disminución de la concentración que puede almacenar el agua.

Para superar los diferentes inconvenientes relativos a las condiciones ambientales, que condicionan la eficacia del tratamiento, y considerando que $100\frac{1}{4}$ g O₃/L de agua es suficiente para conseguir una reducción entre el 99 y el 100% de los microorganismos de riesgo en agua tras 5 minutos de contacto, los equipos deben ser capaces de alcanzar niveles de ozono residual de $200\frac{1}{4}$ g O₃/L de agua, a fin de impedir que los factores externos provoquen que el tratamiento sea ineficaz.

El ozono no tiene por qué modificar el sabor del agua, ya que al ayudar a degradar la materia orgánica, consigue una disminución de la capacidad de ésta para desarrollar aromas relacionados con su alteración biológica. Del mismo modo, el ozono suele eliminar el color anormal del agua, precisamente porque su capacidad oxidante puede contribuir a eliminar muchas de las sustancias responsables de colores extraños. No obstante, para llegar a solucionar este problema se necesitan dosis muy elevadas.

Una excepción a esta regla se da cuando en el agua existen sales de hierro o manganeso. En ambos casos las sales oxidadas dan lugar a colores inaceptables. La ventaja en estos casos es que las sales resultantes son insolubles, por lo que durante la potabilización se pueden eliminar mediante sistemas sencillos de filtración o decantación.

Desinfección con Cloro: La cloración ha desempeñado una función crítica, ya que desde hace 90 años protege los abastecimientos de agua potable de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. La filtración y la desinfección de cloro del agua potable han sido responsables de gran parte del 50% de aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX. Este hecho motivó a la revista *Life* citar recientemente a la filtración y cloración de agua potable como "probablemente el más significativo progreso de salud pública del milenio"⁸.

En 1846, el doctor Ignaz Semmelweis introdujo uno de los primeros usos del cloro como desinfectante. Mientras trabajaba en un hospital de Viena, determinó que la fiebre de los niños y otras infecciones eran transmitidas a los pacientes por los doctores que no se lavaban las manos después de cada examen. Instituyó un procedimiento de desinfección que requería que los médicos se lavasen con jabón y agua de cloro. Uno de los primeros usos conocidos del cloro para la desinfección del agua se dio en 1854, cuando el Dr. John Snow⁹ intentó desinfectar el abastecimiento de agua de Bombas de la calle Broad en Londres después de un brote de cólera. Posteriormente se dio un brote de tifoidea; Sims Woodhead usó "solución de lejía" como una medida temporal para esterilizar las cañerías de distribución de agua potable en Maidstone, Kent (Inglaterra).

La cloración continua del agua empezó en los primeros años de este siglo en Gran Bretaña, donde su aplicación redujo repentinamente las muertes por tifoidea. Poco después de este notable éxito, la cloración en los Estados Unidos empezó en la ciudad de Jersey, Nueva Jersey en 1908. Pronto, la adopción por parte de otras ciudades y pueblos en los Estados Unidos continuó y dio lugar a la eliminación virtual de las enfermedades transmitidas por agua, tales como el cólera, tifoidea, disentería y hepatitis A. (White, 1986)⁹ Antes de la llegada de la cloración para el tratamiento de agua potable, aproximadamente 25 de cada 100.000 personas morían anualmente en los Estados Unidos a causa de la fiebre tifoidea, una tasa de mortalidad que se aproximaba a la actual tasa asociada con accidentes automovilísticos.

Explicación de la destrucción de los agentes patógenos por medio del cloro:

En 1881, el bacteriólogo alemán Robert Koch⁸ demostró bajo condiciones controladas de laboratorio que los cultivos puros de bacterias podían ser destruidos por hipoclorito (lejía). El grueso de la investigación sobre desinfección de cloro realizada desde los años cuarenta a los setenta con un énfasis en bacterias, proporcionó observaciones sobre la manera en que el cloro mata al microorganismo. Las observaciones: (1) las células bacterianas dosificadas con cloro liberan ácidos nucleicos, proteínas y potasio y (2) las funciones de la membrana, tales como la respiración y transporte activo, son más afectadas por el cloro que los procesos citoplasmáticos, dirigen la atención de investigadores a la superficie de la célula bacteriana. La hipótesis fue que la pared de células bacterianas, bajo estrés ambiental, podría interactuar con el cloro. La exposición del cloro parece causar alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula. Por lo tanto, destruye la barrera protectora de la célula, con lo que concluyen las funciones vitales y da lugar a la muerte del microorganismo. Una posible secuencia de los casos durante la cloración sería: (1) la interrupción de la barrera de la pared de célula mediante reacciones del cloro con sitios proyectados en la superficie de células, (2) descarga de elementos constitutivos celulares vitales de la célula, (3) terminación de las funciones asociadas con membranas y (4) terminación de las funciones celulares dentro de la célula. Durante el curso de esta secuencia de casos, el microorganismo muere, lo que significa que ya no es capaz de crecer o causar enfermedad alguna.

Valores de TC (Tiempo de contacto)

Para el tratamiento eficaz de agua, la industria del abastecimiento de agua ha reconocido la necesidad de exponer adecuadamente el desinfectante y dosificarlo suficientemente por un determinado período. En los años ochenta ambas funciones se combinaron, a través del desarrollo de los valores de TC para diversos desinfectantes.

El TC representa la combinación de la dosificación desinfectante y el periodo en que se ha expuesto el agua a la mínima cantidad del residuo desinfectante. Matemáticamente se representa como:

TC = tiempo de concentración x
concentración = concentración de desinfectante final en mg/L
tiempo = tiempo mínimo de exposición en minutos

En una evaluación de la eficacia de desinfección, se eligieron dos tipos de organismos como sustitutos de desinfección -- la *Giardia* protozoaria y los virus. Los valores de TC establecidos para la desinfección de las aguas superficiales requieren plantas de tratamiento para lograr una reducción de tres logaritmos o 99,9% de *Giardia* y una reducción de cuatro logaritmos o 99,99% de virus.

Es importante reconocer que el uso de cloro como desinfectante es sólo una parte del proceso de tratamiento. Igualmente importante es la necesidad de una mejor filtración para extraer los organismos. Una combinación de desinfección y filtración adecuada es más eficaz cuando se proporciona agua potable. Los experimentos recientes para controlar el *Criptosporidio* también indican la eficacia de la filtración en el proceso de tratamiento del agua.

Los productos químicos basados en cloro han sido los desinfectantes preferidos para tratar el agua potable durante casi un siglo. En realidad, 98% de todos los sistemas en los Estados Unidos que tratan el agua, emplean desinfectantes basados en cloro. En las instalaciones se emplea el cloro porque ha resultado sumamente bueno, es seguro de usar cuando se maneja adecuadamente y es muy eficaz en función de costos. Más de 200 millones de estadounidenses y canadienses reciben agua potable desinfectada con cloro cada día.

Los atributos más importantes del cloro son su potencia y persistencia germicida de amplio espectro en los sistemas de distribución de agua. Además, su capacidad para abordar eficiente y económicamente otros muchos sistemas de tratamiento de agua, también ha contribuido a su amplio uso. Los compuestos basados en cloro son los únicos desinfectantes principales que presentan propiedades residuales duraderas. La protección residual previene un nuevo crecimiento microbiano y la contaminación del agua, dado que pasa de la planta de tratamiento a los grifos domésticos. A continuación se listan los atributos más importantes del cloro:

- Germicida potente. El uso demostrado del cloro reduce el nivel de los microorganismos en el agua potable, los que causan enfermedades a niveles casi imposibles de medir.
- Cualidades residuales. El cloro produce una acción sostenida de desinfección residual "única entre los desinfectantes disponibles de agua en gran escala". La superioridad del cloro como un desinfectante residual sigue siendo válida hasta hoy. La presencia de un

residuo sostenido mantiene la higiene del agua potable final de la planta de tratamiento al grifo del consumidor.

- Control del gusto y olores. La cloración del agua potable reduce los gustos y olores. El cloro oxida muchas sustancias que se presentan naturalmente, tales como las secreciones de algas malolientes y olores de la vegetación en putrefacción, lo que da como resultado agua potable sin olor y con mejor sabor.
- Control de crecimiento biológico. La potente acción germicida del cloro elimina las bacterias, moho y algas de limo. El cloro controla estos organismos molestos que por lo general crecen en reservorios, paredes de cañerías de transmisión de agua y tanques de almacenamiento.
- Control químico. El cloro en el tratamiento de agua destruye el sulfuro de hidrógeno, y extrae amoníaco y otros compuestos nitrogenados que tienen sabores desagradables y que obstaculizan la desinfección.

El debate de los subproductos de desinfección

En 1974, los científicos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) determinaron que el cloro reacciona con ciertos materiales orgánicos durante la desinfección de agua para crear trihalometanos (THM), incluido en particular el cloroformo, con cantidades menores de otros THM. Los estudios toxicológicos emprendidos en cloroformo indicaron que era carcinogénico para animales de laboratorio, aunque en niveles mucho mayores que los encontrados en agua potable. Los temores de que los THM podrían ser un carcinógeno humano potencial, llevaron a la EPA a fijar los límites reglamentarios para estos subproductos de desinfección (SPD) a 100 partes por mil millones (ppmm) para sistemas que servían a más de 10.000 personas. En Estados Unidos, sin embargo, todavía no hay normas de exigencia para subproductos de desinfección en sistemas pequeños.

En 1994, la EPA propuso el estadio 1 de una regla de subproductos de desinfectantes/desinfección. Esta regla reduciría el máximo nivel de contaminantes (MNC) para SPD y ampliaría la cobertura a sistemas pequeños. La EPA recomendó revisar esta regla propuesta en noviembre de 1997. Estas revisiones se basaron en un convenio entre los miembros de un Comité Federal Asesor que incluía a representantes de servicios de agua, Consejo de Química de Cloro, funcionarios de salud pública, ambientalistas y otros grupos involucrados. La meta del nuevo estadio 1 de la regla de subproductos de desinfección es reducir los niveles de SPD en el agua potable, sin comprometer la protección microbiana. La regla ordena un proceso llamado coagulación mejorada para eliminar los precursores de SPD. La propuesta también coloca a los nuevos MNC para THM totales a 80 ppmm, ácidos haloacéticos a 60 ppmm y bromato a 10 ppmm. El Comité Federal Asesor fue cauteloso al promover el uso de otros desinfectantes que producirían subproductos desconocidos. El Comité también fue muy cuidadoso en cuanto a cualquier cambio que pudiese alentar a los servicios de agua a reducir el nivel de desinfección actualmente practicada. Existía un acuerdo generalizado entre los miembros del grupo en cuanto a que no se debe permitir el aumento de los riesgos de microbios patógenos en el agua potable. Esta regla propuesta finalizará en noviembre de 1998.

Desde el punto de vista toxicológico, es muy difícil extrapolar resultados obtenidos de estudios de cáncer en animales de experimentación y extenderlos a los seres humanos. Asimismo, estos

estudios se han hecho con un limitado número de animales y de compuestos, además de haberse realizado para un corto plazo.

El agua clorada expone al público consumidor a un riesgo potencial que no está claramente definido; los estudios caso-control han demostrado un ligero incremento en la probabilidad de contraer cáncer a la vejiga, en poblaciones que consumen agua clorada durante varios años.

b) Agentes físicos

Desinfección por temperatura: Normalmente las enfermedades transmitidas por el agua no son causadas por bacterias formadoras de esporas o por organismos resistentes al calor por lo que el agua, puede ser desinfectada por medio de calentamiento. Este método es efectivo, sin embargo no es práctico en grandes escala y también es caro. Pero su principal desventaja es que no tiene una acción residual para prevenir cualquier recontaminación del agua durante el proceso de distribución.

Desinfección con Luz Ultravioleta (UV): El término ultravioleta o luz "UV", como usualmente se refiere, es uno de los medios probados para tratar aguas contaminadas biológicamente. Esta simple y segura tecnología es conveniente para pequeños flujos residenciales, así como también grandes flujos en proyectos comerciales e industriales.

Para propósitos prácticos, el término esterilizador se usa como un término genérico para describir tecnología ultravioleta.

El ultravioleta es una región de energía del espectro electromagnético que yace entre la región de radiografía y la región visible. UV por sí misma yace en las gamas de 200 nanómetros a 390 nanómetros. Como los niveles de energía aumentan como los aumentos de longitud de onda, las radiografías tienen más energía que UV y UV tiene más energía que el espectro luz visible.

El espectro UV se divide en cuatro regiones, que se designa el vacío UV, UV-A, UV-B, y UV-C. Este trabajo está enfocado en los tres últimos.

UV-A u onda larga ultravioleta, ocurre entre 325 y 390 nm, es representado por la luz solar. Este rango tiene poco valor germicida.

UV-B u onda media ultravioleta ocurre entre 295 y 325 nm y es mejor conocido para su uso en lámparas. Estas ondas medias también se encuentran en la luz solar y proveen de algún efecto germicida si la exposición es suficiente.

UV-C u onda corta ultravioleta ocurre entre 200 y 295 nm y es donde más ocurre el efecto germicida. La óptima acción UV germicida ocurre en 265 nm.

Dado que la onda corta se filtra naturalmente por la atmósfera de la tierra, rara vez se encuentra sobre la superficie. Para tener ventajas del potencial germicida de UV-C, se deben buscar medios alternos de producción de luz UV. La producción de radiaciones de energía UV debe por lo tanto de lograr la conversión de energía eléctrica. Esta conversión se realiza con una lámpara de baja presión de vapor de mercurio. La luz UV se produce como resultado de la corriente de electrones a través del vapor ionizado de mercurio entre los electrodos de la lámpara (es de notar que el resplandor

azulado dado por la lámpara UV se debe al gas dentro de la lámpara y no tiene acción germicida por sí mismo).

Estas lámparas UV son similares en el diseño a lámparas fluorescentes estándares con unas pocas diferencias notables. Las lámparas UV típicamente se fabrican con cristal duro de cuarzo a diferencia de cristal suave encontrado en lámparas fluorescentes. Este cuarzo permite una transmisión de energía radiada UV de 90%. Las lámparas fluorescentes también contienen un revestimiento delgado de fósforo que convierte el UV a la luz visible.

Los microorganismos comprenden una variedad amplia de estructuras únicas y pueden agruparse en cinco grupos básicos: bacterias, virus, hongos, protozoarios y algas. En términos simplistas, un microorganismo se constituye de la pared de célula, membrana citoplásmica y el material genético de célula, ácido nucleico. Es el material genético o DNA (ácido desoxirribonucleico) blanco para la luz UV. Como UV penetra la pared de célula y membrana citoplásmica, ocasiona una reestructuración molecular de DNA del microorganismo que así lo previene de reproducirse. Si una célula no puede reproducirse, se considera muerta.

Debido a la construcción individual de célula, niveles diferentes de energía UV se requieren para la destrucción. Las lámparas UV emiten sobre 90% de su energía radiante en 253.7 nm, que es muy cerca del pico eficiencia germicida de 265 nm.

El grado de destrucción microbiológica es un producto de dos factores, que es la residencia real, o tiempo de contacto del agua está dentro de la cámara de esterilización; y la intensidad, que es la cantidad de energía por unidad de área (calculada por dividir la producción en watts por el área de superficie de la lámpara). Este producto de intensidad y el tiempo es conocido como la DOSIS y se expresa en micro watts, segundos por centímetro cuadrado ($\mu\text{wseg}/\text{cm}^2$).

Diseño de un sistema de desinfección UV

El diseño de un esterilizador ultravioleta tiene su base sobre como la dosis se entrega. Las lámparas individuales emiten una cantidad específica de energía ultravioleta y el flujo es un factor determinante por lo que no debe ser sobredimensionado. El tamaño de la cámara de reactor es también de importancia extrema dado que la intensidad disminuye por el cuadrado de la distancia después la lámpara.

La selección de la balastra debe coincidir con la corriente activa correcta de la lámpara dado que una pérdida en intensidad ocurrirá si la lámpara no es operada en el rendimiento correcto. Las balastras de estado sólido ofrecen las ventajas de temperaturas más frescas, requerimientos menores de espacio y menos peso, todo con la entrega uniforme de energía.

Los cartuchos de cuarzo resguardan el agua de la corriente de la lámpara, ofrecen temperaturas más uniformes y permiten una transmisión más alta de la energía.

La variedad de aspectos opcionales que pueden proveerse en los esterilizadores, incluyen: dispositivos que controlan UV y miden el rendimiento real en 253.7 nm, controlando dispositivos que pararán la corriente de agua en caso de la falla del sistema, dispositivos de control de flujo para limitar adecuadamente la corriente de agua en las unidades, alarmas visuales y audibles (ambas locales y

remotas) para advertir de fallas de lámpara, dispositivos para controlar temperaturas excedentes en la cámara de reactor, y cronómetro para controlar el tiempo de operación de lámparas UV.

Los factores que afectan la UV

La eficiencia de un sistema UV para eliminar la contaminación biológica es directamente dependiente de las calidades físicas del influente de agua.

SOLIDOS SUSPENDIDOS o partículas ocasionan un problema de blindaje en que un microbio puede pasar al través del esterilizador sin realmente tener la penetración UV directa. Este blindaje puede ser reducido por la filtración mecánica a por lo menos cinco micras en el tamaño.

FIERRO Y MANGANESO en niveles 0.03 ppm de fierro y 0.05 ppm de manganeso ocasionarán manchado sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Un apropiado pretratamiento se requiere para eliminar este problema de manchado.

CALCIO Y MAGNESIO (Dureza) permitirá formación de incrustaciones sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Este problema especialmente se magnificará cuando el flujo es bajo (o ninguno) los iones de magnesio y calcio se unen con carbonatos y sulfatos para formar acumulación progresiva de incrustaciones dentro de la cámara de esterilizador y sobre la lámpara o cartucho.

OTROS COMPUESTOS ABSORBENTES tales como ácido húmico y fúmico, así como también los taninos reducirán la cantidad de energía UV disponible para penetrar el agua y afectar el material genético DNA, de la célula.

La temperatura es un factor determinante. La temperatura óptima de la lámpara UV debe estar cerca de 40 °C (104°F). Los niveles de UV fluctuarán con niveles de temperatura excesivamente bajos o altos. Un cartucho de cuarzo se utiliza para mediar el contacto agua/lámpara, reduciendo fluctuación de temperatura. Un método típico empleado en un sistema sin cartucho de cuarzo, es restringirlo considerando estas fluctuaciones.

Ventajas

- El bajo costo de inversión inicial, así como también reducción de gastos de operación cuando se compara con tecnologías similares tales como ozono, cloro, etcetera.
- Proceso de tratamiento inmediato, ninguna necesidad que tanques de retención.
- Sumamente económico, centenares de galones pueden tratarse por centavos de costo de operación.
- Ningún químico para agregar al abastecimiento de agua, ningún subproducto.
- Ningún cambio en el gusto, olor, pH o conductividad ni la química general del agua.
- La operación automática sin mediciones o atención especial.
- La simplicidad y facilidad de mantenimiento, período de limpieza y reemplazo anual de lámpara, sin partes móviles.
- Ninguna manipulación de químicos tóxicos, ninguna necesidad de requerimientos especializados de almacenaje.
- La instalación fácil, dos conexiones de agua y una conexión de energía.
- Más efectivo contra virus que el cloro.

- Es compatible con cualquier proceso de tratamiento de agua, por ejemplo: Osmosis Inversa, Destilación, Intercambio Iónico, etcétera.

Desventajas

- No es muy efectiva con esporas, quistes y virus.
- Es requerido pre-acondicionamiento del agua, ya que la UV es absorbida por toda la materia orgánica del agua, aun en aguas pretratadas.
- No tiene efecto residual.
- La generación de la UV, tiene un costo muy alto.
- No puede determinarse con facilidad la eficiencia del tratamiento.

Aplicaciones

La tecnología UV actualmente se usa en un conjunto extenso de aplicaciones desde la protección básica de agua potable doméstica debido a un pozo contaminado; hasta un tratamiento final para enjuagues de limpieza de partes electrónicas libre de gérmenes. La lista siguiente muestra las áreas donde la tecnología ultravioleta está actualmente en uso:

- | | | |
|--------------------|-----------------|----------------|
| • Agua Superficial | • Electrónica | • Alimenticia |
| • Cervecería | • Cisternas | • Impresión |
| • Farmacéutica | • Enlatado | • Hospitales |
| • Agua Subterránea | • Acuicultura | • Destilería |
| • Vinícola | • Escuelas | • Petroquímica |
| • Cosméticos | • Repostería | • Marina |
| • Fotografía | • Restaurantes | |
| • Granjas | • Embotelladora | |

Instalación

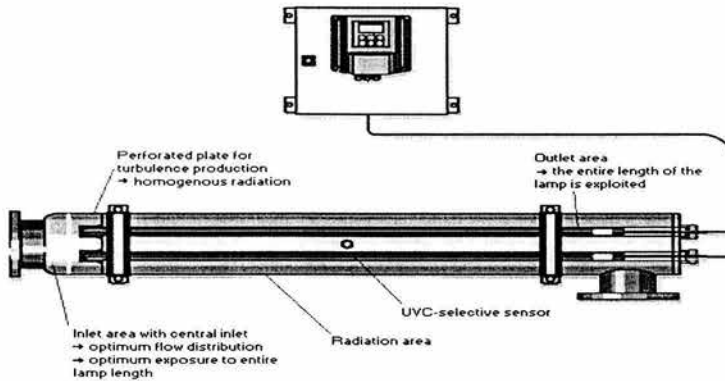
Una vez que la aplicación es determinada, la colocación de la unidad UV debería tener consideración especial. El esterilizador debería ponerse tan cerca del punto de distribución como sea posible. Como UV es un proceso físico y **no tiene valor residual**, es imperioso que todos los puntos de la distribución (tubería) del sistema después del esterilizador sean químicamente tratados para asegurar que el sistema está libre de cualquier contaminación microbiológica.

Las unidades UV deberían instalarse sobre la línea fría de agua antes de cualquier línea de distribución. Una distribución típica doméstica tendrá 5 gpm de flujo; sin embargo, si el valor del flujo está en cuestión, la unidad UV deberá considerarlo. Como una precaución, un regulador de flujo debería instalarse antes de cualquier esterilizador para asegurar que el flujo recomendado por el fabricante no es excedido.

El esterilizador UV debería ser el último punto de tratamiento. Cualquier pretratamiento debería preceder el esterilizador. Si el abastecimiento de agua contiene Giardia Lamblia (u otros quistes), una unidad alterna de filtración mecánica debería instalarse en el punto de uso después de la unidad UV.

La única manera positiva para determinar si el esterilizador está funcionando como fue diseñado, es obtener una prueba microbiológica sobre el abastecimiento de agua. Si bien la lámpara se ilumina y parece estar funcionando, factores tales como calidad de agua, vida de la lámpara, y transmisión real, pueden afectar el rendimiento. Se recomienda que analice el agua periódicamente para asegurar que se recibe agua segura bacteriológicamente. Es también imperativo seguir directivas del fabricante sobre la calidad del agua y procedimientos operacionales. LA Fig.2.12 muestra un sistema típico de desinfección UV.

Figura 2.12 Sistema de desinfección con UV



2.2 DEFINICIÓN DEL TREN DE PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS

La calidad original del agua, depende principalmente de la naturaleza de la fuente de abastecimiento y especialmente de su Geología, esto es la composición del subsuelo, la presencia de iones metálicos, minerales y otros compuestos, se atribuye a la disolución de rocas y minerales en las aguas subterráneas. De acuerdo a la serie de datos analíticos reportados en el historial de calidad del agua del pozo Trabajadores del Hierro, se definió con anterioridad los problemas de calidad que presenta y se encuentran resumidos en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Resumen de problemática de calidad del agua de pozo.

Característica	Unidades	Criterio	Pozo
Color	Unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto	20	30
Manganeso	mg/L	0.15	0.214
Nitrógeno proteico	mg/L	0.10	0.10
Organismos coliformes totales	NMP/100 ml	2	32

En la literatura se reportan diferentes métodos para la eliminación de los contaminantes encontrados en el agua de pozo, así que haremos una comparación de estos métodos para seleccionar el que mejor se ajuste a las necesidades de potabilización de esta agua.

2.2.1 REMOCIÓN DE MANGANESO

En México y en el mundo gran parte de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea se ven afectadas por la presencia de hierro (Fe) y manganeso (Mn), los cuales se encuentran en forma soluble que al oxidarse, ya sea al momento de la cloración o con el oxígeno del aire, se precipitan generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas.

Hasta el momento no se conocen efectos nocivos para la salud de estos elementos, sin embargo, las concentraciones elevadas de manganeso pueden acelerar el crecimiento biológico en los sistemas de distribución y contribuir a los problemas de sabor y olor en el agua, así mismo aumentan la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección.

A continuación se describen los métodos más efectivos para la remoción de estos contaminantes:

• **Aireación-Filtración.** El proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta vía el O_2 . Esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn^{+2} , excepto a valores de pH mayores de 9.5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales¹².

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L.

Filtración en medios acondicionados. Los medios filtrantes acondicionados (greensand, birm, antrasand y pirolusita) para Manganeseo son de naturaleza similar, y su capacidad de regeneración, adsorción y filtración depende de la distribución de tamaño de partícula, de su forma y de los precipitados de óxidos de manganeseo [$\text{MnO}_2(\text{s})$] en su superficie. Normalmente se utiliza permanganato de potasio (KMnO_4) como agente oxidante, siendo éste de costo elevado y requiere de un estricto control en su aplicación debido a su toxicidad¹².

Tecnologías alternativas. El ablandamiento se aplica para eliminar la dureza del agua, donde la remoción del Fe y Mn es un efecto secundario. Dicho proceso consiste en elevar el pH del agua para precipitar al calcio y magnesio, originando que se oxide el Fe y Mn y coprecipiten con los carbonatos (a valores de pH mayores de 11). Este método no es muy eficiente, ya que se forman precipitados de manganeseo de tamaño coloidal que pasan a través de los filtros cuando no se agregan coagulantes¹².

Estabilización por secuestro. Los agentes secuestrantes son productos químicos utilizados para evitar que se precipiten los metales. Normalmente, tanto el silicato de sodio como los polifosfatos se utilizan para secuestrar Fe y los polifosfatos para secuestrar Mn. Muchos polifosfatos modernos tienen una larga cadena lineal de fosfatos; el arreglo de las moléculas a lo largo de la cadena protege de ataques al material secuestrado y los sujetan durante cierto periodo de tiempo o hasta que algún otro factor rompa los enlaces. Los agentes secuestrantes no remueven al Fe y Mn, solo evitan que precipiten y se recomienda su aplicación sólo para sistemas pequeños y concentraciones menores 0.5 mg/L.

Métodos biológicos. El hierro y manganeseo también pueden ser removidos biológicamente. Los tratamientos biológicos siempre requieren de calidades y condiciones específicas del agua cruda, y no todas las aguas subterráneas o superficiales son factibles económicamente de ser tratadas. Los tratamientos biológicos pueden emplearse cuando los costos de inversión y operación son menores que los de un proceso físico-químico.

Remoción in-situ. La remoción *in-situ* consiste en la remoción de Fe y Mn directamente en el manto acuífero para obtener un agua de buena calidad. Este proceso es relativamente nuevo y solo existen algunas instalaciones en operación en Europa y en los Estados Unidos. Consiste en disolver oxígeno atmosférico en el agua que se utiliza para la recarga del acuífero, para posteriormente ser inyectada. El agua de recarga rica en oxidante (oxígeno) causa que el Fe y Mn formen una superficie de óxidos hidratados alrededor del acuífero, creando una zona de tratamiento. Cuando se termina la recarga, el agua subterránea rica en Fe y Mn pasa a través de esta zona por efecto de la extracción por bombeo. Las superficies de óxidos hidratados adsorben los iones de Fe y Mn, reduciendo las concentraciones de Fe y Mn disueltos. Cuando la zona de tratamiento se agota (se pierde la capacidad de adsorción de Fe y Mn), se reactiva nuevamente, inyectando agua oxigenada de recarga. Los ciclos de recarga y extracción se repiten cuantas veces sea necesario. La duración de los ciclos está en función del agua extraída antes de que los niveles de Fe y Mn rebasen las concentraciones deseadas.

Intercambio iónico. Este proceso por lo general se aplica para la remoción de la dureza, utilizando resinas sintéticas operando a ciclo de sodio (Na^+). La resina intercambia el sodio por iones Ca^{+2} , Co^{+2} , Cu^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} y Mn^{+2} presentes en el agua; como resultado de este proceso se incrementa la concentración de sodio en el agua tratada. Una desventaja de este proceso son los precipitados cálcicos formados en presencia de oxígeno que bloquean los sitios de intercambio iónico,

causando la saturación de la resina. Este proceso no se recomienda para la remoción de Fe y Mn ya que existe una mayor selectividad para el calcio y otros iones de mayor valencia.

Oxidación-Filtración. El proceso de oxidación-filtración consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o carbonato de sodio (Na_2CO_3). Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4. Acerca de este proceso se tienen resultados experimentales de diversas corridas que se hicieron por parte de la D.G.C.O.H. con aguas de las mismas características que las aguas del pozo trabajadores el hierro. En estas pruebas se ha probado la tecnología para remoción del Manganese disueltos, la cual se basa en la oxidación de Manganese para posteriormente Filtrar estos óxidos.

En estos resultados experimentales se puede apreciar la alta eficiencia de remoción que tiene este sistema, pues se reportan resultados de entre el 95-99 % de remoción en la concentración de Manganese. Este proceso ha sido implementado en muchas de las plantas potabilizadoras del D.F. comprobando en cada una de ellas la eficiencia del mismo.

La técnica propuesta para la remoción de estos contaminantes consta de tres procesos básicamente:

- 1.- Mezclado con el agente oxidante.
- 2.- Oxidación de Manganese disuelto en el agua.
- 3.- Filtración de los óxidos formados.

La operación de mezclado cobra gran importancia en el proceso de oxidación, el mezclado rápido continuo tiene por objetivo el mezclar una sustancia en otra, en un intervalo de tiempo que va desde una fracción de segundo hasta cerca de 30 segundos. Dada la importancia de esta operación, se piensa en un dispositivo que ayude a hacer más eficiente este proceso.

Se ha comprobado que conforme avanza la operación de los filtros (filtros de arena profundos) en la superficie se va formando una capa de óxido de manganese haciendo que la superficie del filtro se comporte como un lecho catalítico, mejorando con esto la retención de todos los óxidos formados durante la etapa de oxidación.

El proceso presenta diversas ventajas comparadas con cualquier otro de tipo principalmente son su alta eficiencia y menor costo de inversión y largas carreras de operación.

El proceso ha sido probado mediante estudios en campo en diversos lugares del territorio nacional incluyendo agua proveniente del mismo acuífero que el agua del pozo "Trabajadores del Hierro", con eficiencias de remociones promedio de manganese del 97%, obteniéndose concentraciones máximas de manganese residual de 0.01 mg/L, diez veces inferiores al límite máximo establecido en la NOM-127-SSA1-1994¹.

La tabla 2.7 muestra la comparación entre diferentes métodos para la remoción de manganese.

Tabla 2.7 Tabla comparativa de procesos de remoción de Manganeso.

Proceso	Ventajas	Desventajas	Eficiencia
Aireación - Filtración	En concentraciones muy altas de hierro (mayor de 5 mg/L) disminuye notablemente los costos por conceptos de reactivos. Tiempos de retención altos. Grandes extensiones de terreno	No es muy efectiva para la remoción de manganeso disuelto a menos de tener un pH mayor de 9.5.	Alta con altas concentraciones de hierro y manganeso.
Filtración en medios condicionados	Como la capacidad de adsorción y filtración dependen de la distribución del tamaño de partícula del medio filtrante, se pueden acondicionar para todo tipo de agua	El agente oxidante que se usa comúnmente en este proceso es permanganato de potasio, siendo muy costoso y de difícil manejo por su toxicidad.	Alta.
Tecnologías alternativas		Se forman precipitados de manganeso de tamaño coloidal que no son retenidos por los filtros.	Poco eficiente.
Estabilización por secuestro		Los agentes secuestrantes no remueven hierro y manganeso, solo evitan que precipiten así que el éxito de este proceso depende de operaciones subsecuentes.	Nula.
Métodos biológicos	Los costos de operación son mucho menores que los de un proceso físico - químico.	Requieren de calidades y condiciones especiales del agua cruda.	-----
In situ	Se extrae un agua con cualidades químicas buenas	Se tiene muy poca información de este método ya que es relativamente nuevo.	-----
Intercambio iónico	-----	Son los precipitados de calcio que se forman que bloquean los sitios el intercambio.	Es muy eficiente para la remoción de sales, pero poco eficiente para la remoción de hierro y manganeso.
Oxidación - Filtración	Bajos costos de operación. Fácil operación. Un área relativamente pequeña en comparación con otros procesos. Resultados probados. Bajos costos de mantenimiento.	El manejo del agente oxidante.	Alta de entre 90 y 95 %.

Debido a las ventajas que se encuentran en el proceso de Oxidación - Filtración en cuanto a eficiencia de remoción, facilidad de operación, bajos costos de operación y mantenimiento, a que este ha sido probado experimentalmente, es este el proceso seleccionado para la remoción de Manganeso en el tren de Potabilización del agua del pozo "Trabajadores del hierro".

2.2.2 ABATIMIENTO DE COLOR Y OLOR

En aguas dulces típicas, el grueso de los constituyentes en una muestra filtrada lo forman los minerales disueltos. Sin embargo hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en forma de coloides. Entre ellos se encuentran la sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos, como lo son las sustancias que producen el sabor, el color y el olor.

Algunos olores y sabores son producidos por los constituyentes minerales del agua. Sin embargo, los sabores que más se rechazan en el agua potable, son los producidos por la actividad Biológica.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados ó más, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en multiplicar el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 ó 300 veces este valor.

Por todo ello, cuando se desea remover una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

El carbón activado posee la virtud de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. La adsorción es la responsable de purificar, desodorizar y decolorar el agua, principio que es posible extender a otros sólidos, líquidos o gases que tomen contacto con un elemento adsorbente.

La adsorción con carbón FASE LIQUIDA es útil para remover compuestos orgánicos que causan color, olor y sabor indeseables. Esta técnica es en la mayoría de los casos, la opción más sencilla y económica comparada con otras técnicas, por ejemplo: destilación cristalización, etc.

De tal forma que para la remoción de color, olor y sabor del agua del pozo Trabajadores del Hierro se utilizará filtros de Carbón Activado.

2.2.3 DESINFECCIÓN

Como ya se ha mencionado con anterioridad existen diferentes métodos para desinfectar el agua y de todos ellos el cloro es el más universalmente utilizado y la razón de este hecho es que satisface la mayoría de los requisitos para ser un buen desinfectante:

- Tiene una alta toxicidad para los microorganismos.
- Es altamente soluble en el agua.
- Es estable en la solución.
- Es un poderoso oxidante de la materia orgánica.
- Su capacidad de penetración es muy alta.
- Es relativamente barato.
- Además con un manejo adecuado no representa un alto riesgo para los operadores de una planta.

Analizando la información que se tiene acerca de la desinfección con cloro, se llega a las siguientes conclusiones.

1. En vista de que es ampliamente reconocido el efecto de la desinfección del agua con cloro en condiciones normales, su aplicación es aún más necesaria en situaciones de emergencia, a fin de evitar la propagación de enfermedades gastrointestinales.

2. El nivel de riesgos a la salud humana resultante de la cloración del agua es difícil de determinar. Los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados, no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer cáncer por la cloración versus el alto riesgo por consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos.

3. Aún se continúa investigando la asociación entre cloración del agua y casos de cáncer en humanos. Los experimentos efectuados en animales de laboratorio presentan resultados de difícil extrapolación para evaluar el riesgo en humanos.

4. Hasta la fecha, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo. Otros desinfectantes como el ozono, el dióxido de cloro y la monocloramina, son utilizados en algunas comunidades; si bien éstos pueden evitar la formación de algunos subproductos de la cloración, no son capaces de mantener el efecto desinfectante posterior del cloro residual.

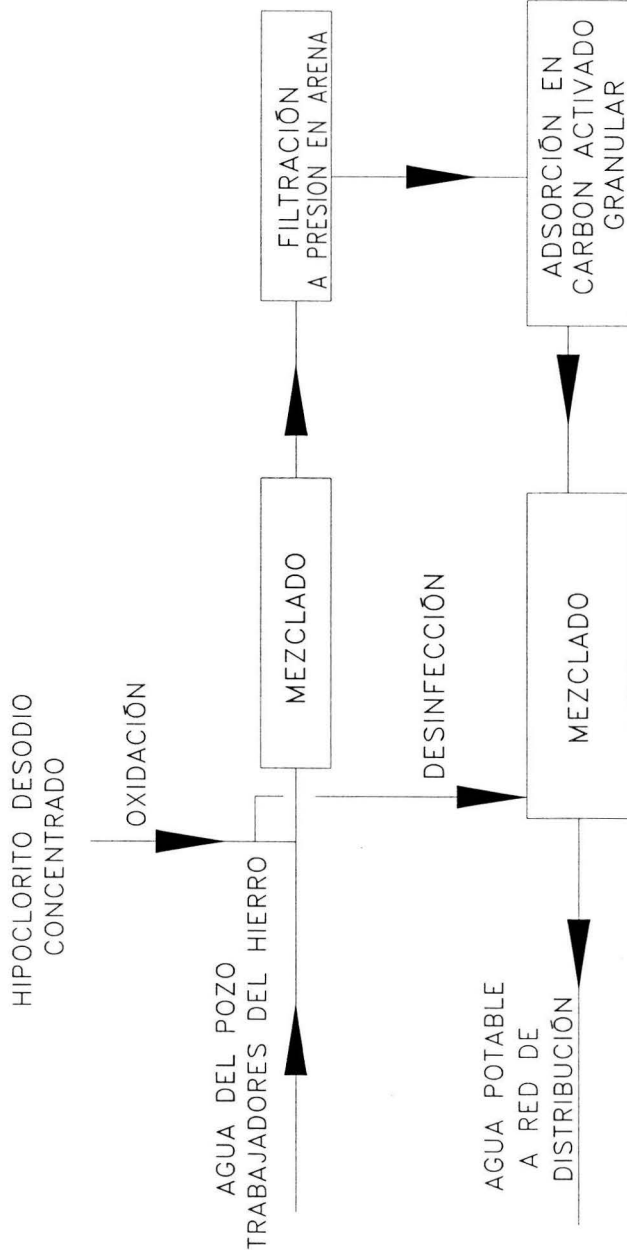
5. El mayor problema que se presenta en la formación de subproductos son los precursores orgánicos. La solución consiste en mejorar los procesos de tratamiento del agua para remover compuestos orgánicos antes de que los subproductos se formen. Es recomendable remover los precursores orgánicos con procesos de tratamiento como la preoxidación, tratamiento biológico y filtración lenta en arena; luego, el carbón activado biológicamente, adsorción con carbón activado y coagulación, y filtración previa a la adición de cloro. De esta forma, se incrementa la eficacia del cloro libre y paralelamente se minimiza la toxicidad al limitar la formación de subproductos.

Tomando en cuenta que para la potabilización del agua del pozo trabajadores del Hierro se lleva a cabo como primer paso una oxidación para lograr precipitar el fierro y manganeso disuelto en el agua, dado el proceso de mezclado en línea, queda garantizada junto con esta oxidación la desinfección total del agua. En el caso la desinfección del agua de este pozo es solo para garantizar un residual durante la distribución del agua a los domicilios.

Después del este análisis, se llega a la conclusión de que además de todas las bondades en cuanto eficacia de desinfección, poder bactericida y económico, el cloro es el que ofrece un poder residual. El desinfectante que se utilizará para el proceso de Potabilización del agua del pozo Trabajadores del Hierro será una solución concentrada de hipoclorito de sodio.

En la figura 2.13 se presenta el diagrama de bloques del tren de procesos y operaciones unitarias seleccionado para la Planta Potabilizadora “Trabajadores del Hierro”

Figura 2.13 Esquema del proceso de Potabilización para el agua del pozo Trabajadores del Hierro.



CAPÍTULO 3.- BASES DE DISEÑO



3.1 BASES DE DISEÑO

A continuación se describen las bases, criterios y filosofías para el diseño de la planta potabilizadora Trabajadores de Hierro, con capacidad máxima de 66 L/seg. Ubicada en la delegación Azcapotzalco.

Ubicación: Glorieta formada por las calles Mineros metalúrgicos, fundidores y calle 16, Col. Trabajadores del Hierro, Delegación Azcapotzalco, México, Distrito Federal.

Superficie: 500 m²

Colindancias:

Sur	Avenida Cuitlahuac
Norte	Eje 4 Norte
Poniente	Avenida Jardín
Oriente	Calzada Vallejo

Objetivo de la planta:

Tratar el agua del pozo Trabajadores del Hierro a través de un sistema integrado por los procesos de oxidación, filtración rápida, adsorción en carbón activado y desinfección, para producir un efluente con la calidad apropiada para uso y consumo humano.

Capacidad:

Flujo mínimo:	55 L/seg.
Flujo normal:	60 L/seg.
Flujo de máximo:	66 L/seg.

Nivel de tratamiento:

Potabilización

Ampliación y capacidad futura:

Se contemplan ampliaciones en cuanto a procesos en función del deterioro de la calidad del agua, en cuanto a capacidad no se prevé ampliación alguna.

3.2 CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación se plasman los criterios generales a seguir para el cálculo y dimensionamiento de líneas, unidades y equipos de proceso.

Criterios generales de diseño:

Factor de diseño (sobre la capacidad nominal)	1.1
Factor de operación de planta (servicio continuo durante todo el año).	8760 horas/año
Presión requerida del agua efluente	3.0 (kg./cm ² m)
Calidad constante	Se garantizará por sobre diseño del 10 % excepto por deterioro del pozo.
Cantidad constante	Se garantizará por sobre diseño del 10 % excepto por deterioro del pozo.
No-contaminación del efluente potabilizado	Por eliminación de líneas de retorno en secciones de agua en proceso, excepto en el bombeo del efluente final.

Criterios generales de diseño de proceso:

Flujo mínimo:	55 L/seg.
Flujo normal:	60 L/seg.
Flujo de máximo:	66 L/seg.
Temperatura:	19 °C

Criterios generales de diseño de tanques a presión:

Temperatura del aire atmosférico, (°C)	Min=-1; Max=32
Presion del recipiente	5 kg/cm ²
Velocidad de viento, (km./h)	19
Zona sísmica	II (DF- México)
Fluido	Agua

Criterios generales para dimensionamiento de líneas:

Servicio:	Velocidad recomendada	
	m/s	Ft/s
Agua de proceso	1 a 3	3 a 10
Agua de servicios	1 a 3	3 a 10
Flujo por gravedad	0.3 a 1	2 a 6
Descarga de bombas	2 a 3	6 a 10

Criterios generales para la selección de válvulas:

Servicio:	Tipo de válvula
Descarga de bombas	Una combinación de válvula retención/compuerta
Influente y efluente de equipos a presión	Mariposa
Servicios auxiliares	Globo
Control de proceso	Globo

3.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESO

Todos los accesorios mecánicos empleados para la instalación de instrumentos, que estén en contacto con el fluido de proceso, serán adecuados para las condiciones de operación y resistentes a las propiedades corrosivas, abrasivas, erosivas, etc., del mismo.

La instrumentación neumática será capaz de operar con aire y toda la soportería, tornillería y herrajes para montaje de instrumentos será en acero inoxidable 316. La instrumentación tendrá características apropiadas para operar a la intemperie.

La precisión de los sistemas de medición, comparados con el proceso real, deberá determinarse de la lectura marcada en el dispositivo principal, ya sea el transmisor o el registrador. La precisión de los dispositivos de medición deberá estar dentro de los siguientes límites:

Presión:	1.0 por ciento del rango medido
Nivel:	1.0 por ciento del rango medido
Temperatura:	1.0 por ciento del rango medido

Se dejarán tomas de muestreo en las líneas efluentes de cada una de las operaciones a lo largo del tren de proceso.

Cuarto de control:

El diseño de la planta deberá prever un espacio aproximado de 3.00 m. X 3.00 m para la instalación de un cuarto de control para alojar el PLC, los gabinetes, etc.

Arranque y paro de motores

Todos los motores de equipo deberán arrancar y parar desde sus tableros de control central. No se contempla arranque y/o paro desde un sistema local mediante botoneras para equipos mayores. Los motores de dosificadores deberán parar y/o arrancar con botoneras locales.

3.4 SERVICIOS AUXILIARES

Dosificación y almacenamiento de químicos:

Químico:	Hipoclorito de Sodio (NaClO).
Servicio:	Inyección en la descarga de la bomba de pozo y en el cabezal de descarga de las torres de adsorción.
Fuente de suministro:	Carros tanque
Concentración:	12.5%
Sistema de almacenamiento:	El químico será almacenado en tanques de polipropileno
Volumen de almacenamiento:	Para dosificar durante 5 días
Sistema de distribución:	A través de dosificadores
Alcance del proyecto:	Cálculo del tanque de almacenamiento de hipoclorito

Aire de instrumentos:

Servicio:	Suministrar aire para: instrumentos
Fuente de suministro:	Equipo paquete de generación de aire para instrumentos
Sistema de distribución:	De paquete de generación de aire para instrumentos, a instrumentos que requieren el servicio.
Alcance del proyecto:	El alcance será solamente determinar la localización del equipo paquete de generación de aire de instrumentos.

Sistema de drenaje:

Servicio:	Recolectar y recuperar el agua de las descargas directas del retrolavado de los equipos a presión: Filtros de arena y Torres de adsorción.
Forma de colección:	Desde los drenajes de los equipos interconectados por medio de tuberías al cabezal de drenaje, descargando al tanque de almacenamiento de aguas recuperadas, para su tratamiento.
Equipo:	Este sistema consta de tanque de almacenamiento de aguas recuperadas, una bomba centrífuga y un filtro de arena presurizado.
Alcance	Dimensionamiento de los equipos y unidades de proceso

Sistema de drenaje pluvial:

Deberá proporcionarse un sistema de drenaje pluvial y sanitario en conjunto el terreno, para proteger las instalaciones de inundaciones, evitar condiciones indeseables desde el punto

de vista ambiental, tales como arrastre de lodos hacia las áreas de tratamiento y evitar la erosión de la topografía de terreno y fuera de él.

3.5 FILOSOFÍAS DE OPERACIÓN

- Operación continua, 7 días a la semana con tres turnos de 8 horas diarias.
- Trabajos de mantenimiento a los equipos de proceso, programados en horas de bajo consumo de agua en la red de distribución, excepto en mantenimiento correctivo.
- La planta sale fuera de operación durante el retrolavado de los filtros.
- La planta sale de operación en caso de falla de energía eléctrica, no se contempla planta de emergencia.

Filosofía del equipo en relevo:

Se consideran arreglos electromecánicos 1+1, excepto en la bomba de pozo. La capacidad del equipo principal en relevo será como se muestra en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Capacidad de relevo para equipo principal

Equipo	Capacidad
Estaciones de bombeo	100% instalado y refacciones en bodega.
arena/zeolita natural	100% instalado y material de reposición para empacado en bodega.
Dosificadores de cloro	100% instalado y refacciones en bodega.
Carbón activado granular	100% instalado y material de reposición para empacado en bodega.
Sistema de bombas centrifugas verticales a red de distribución	100% instalado y refacciones en bodega.

3.6 CÓDIGOS, ESTÁNDARES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS

los códigos, Estándares y Prácticas recomendadas, que se aplicarán en el diseño de la Planta Potabilizadora “Trabajadores del Hierro” son los mostrados en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Códigos estándares y practicas recomendadas

CÓDIGOS, ESTÁNDARES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS	
Diseño de instalaciones eléctricas	-Norma Oficial Mexicana NOMM-001-SEMP-1994 -- -Relativa a las Instalaciones Destinadas al Suministro y Uso de Energía Eléctrica -National Electrical Code (NEC) -National Electrical Safety Code (NESC) -National Electrical Manufacturers Association (NEMA) -American National Standard Institute (ANSI) -Insulated Power Cable Engineer Association (IPCEA) -Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE) -Lightning Protection Code (NFPA) -Federal Aviation Agency (F.F.A.) -U.S. Coast Guard
Bombas	-Hydraulic Institute Standards (HIS)
Motores Eléctricos	-National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
Materiales de Construcción	-American Society for Testing and Materials (ASTM)
Tuberías y válvulas	-American National Standards Institute (ANSI)
Instrumentación	-Instrument Society of America (ISA)
Carbón Activado Granular	-American Water Works Association (AWWA) -American Society for Testing and Materials (ASTM)
Medio Filtrante	-El medio filtrante deberá ser arena sílica gruesa y zeolita, el medio deberá cumplir con los requerimientos de los estándares ASTM y ANSI/AWWA (ultima edición) de acuerdo a: AWWA/ANSI B-100 AWWA B604 ASTM D75 ASTM C136 ASTM C188

CAPÍTULO 4.- MEMORIA DESCRIPTIVA Y CÁLCULO DE LOS PROCESOS



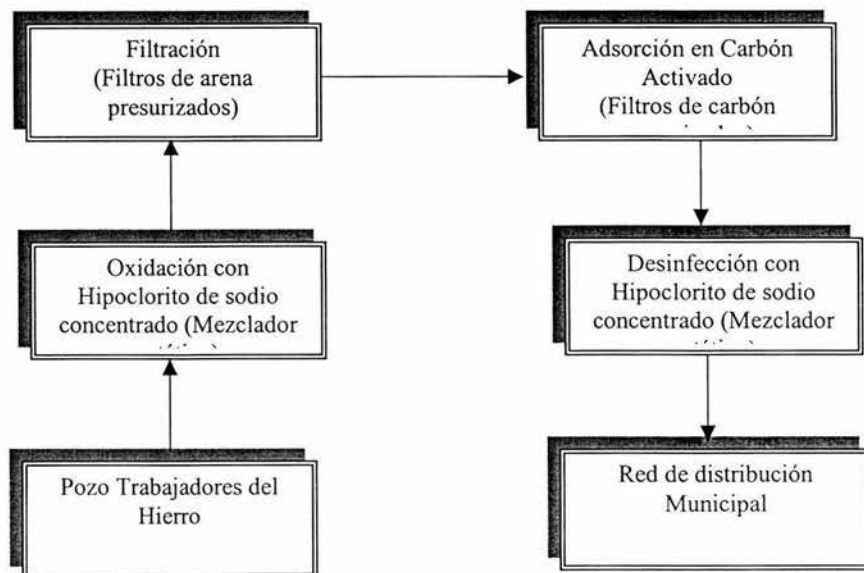
En este capítulo se llevará a cabo el cálculo de los procesos que integran el tren de tratamiento del agua del pozo Trabajadores del Hierro.

De acuerdo a la serie de datos analíticos reportados en el historial de calidad del agua del pozo Trabajadores del Hierro, se definió con anterioridad los problemas de calidad que presenta, y se encuentran resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Resumen de problemática de calidad del agua de pozo.

Característica	Unidades	Criterio	Pozo
Color	Unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto	20	30
Manganeso	mg/l	0.15	0.214
Nitrógeno proteico	mg/l	0.10	0.10
Organismos coliformes totales	NMP/100	2	32

El tren de tratamiento definido para tratar esta agua es el siguiente:



De este modo se tiene que los procesos involucrados son:

Oxidación
Filtración
Adsorción
Desinfección

4.1. OXIDACIÓN

Cálculo del proceso de Oxidación.

En esta sección se llevará a cabo el cálculo del proceso de oxidación de Mn^{2+} con hipoclorito de sodio, este proceso se llevará a cabo en dos etapas:

- 1.-Mezclado de NaClO
- 2.-Tiempo de contacto

Propiedades del Hipoclorito de Sodio (NaClO)

El hipoclorito de sodio puede obtenerse comercialmente a una concentración de 12 a 15% de cloro disponible equivalente, bajo esta concentración es en cierto grado inestable, requiere almacenamiento a una temperatura no mayor de 83 °F (28.3 °C) expuesto a la luz o calor solar, es muy irritante a las membranas mucosas expuestas del ser humano, la Tabla 4.2 presenta la estabilidad como función del tiempo de vida media de las diferentes soluciones de hipoclorito de sodio (NaClO):

Tabla 4.2 Estabilidad del hipoclorito de sodio.

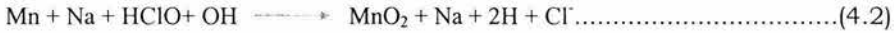
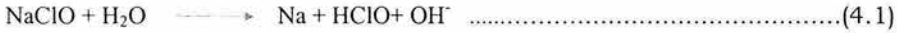
Cloro disponible %	Vida media, días a 25°C
3	17000
6	700
9	250
12	180
15	100
18	60

Tabla 4.3 Propiedades físicas del hipoclorito de sodio.

Propiedad	Grado hogar	Grado comercial	Grado industrial
Cloro disponible (%volumen)	5	12.5	15
Densidad (lb/gal)	9	9.9	10.05
Punto de cristalización °F	24.8	1.4	-1.4
Peso específico, 20°C	1.075	1.185	1.205
Viscosidad, Saybolt seg 75°C	30.7	32.8	34.6
Cloro disponible, g/L	50	125	150
Cloro disponible lb/gal	0.42	1.04	1.25
Basicidad libre, g/L NaOH	1.0min	2.5min	4 a 15
Carbonatos libres, g/L Na_2CO_3	0.5	1.5	2.5
Hierro como Fe^{3+} , mg/L	0.1min	0.3min	0.5min
pH	10.6	10.6	10.82 a 11.2
Color	Amarillo verdoso	Amarillo verdoso	Amarillo verdoso
Olor	Cloro	Cloro	Cloro
Estado físico	Líquido	Líquido	Líquido

4.1.1 CÁLCULO DE LA DOSIS DE HIPOCLORITO DE SODIO

La oxidación de Mn^{2+} a MnO_2 es posible en presencia de una dosis de cloro de acuerdo a la siguientes reacciones químicas:



Peso molecular Mn = 54.938 gr/mol
 Peso molecular MnO_2 = 86.9368 gr/mol
 Peso molecular NaClO = 74.4422 gr/mol

El factor estequiométrico para calcular la cantidad de NaClO para la oxidación de Mn^{2+} es:

$$f = 74.44 \text{ mg NaClO} / 54.94 \text{ mg Mn} = 1.355$$

La dosis de cloro requerida para la remoción de Mn^{2+} varía de acuerdo a la calidad del agua a ser tratada, la bibliografía especializada^{16,17,18} recomienda que la dosis de cloro deberá ser aquella que permita mantener un residual de cloro libre de 4 mg/l en promedio en el agua efluente del proceso, así la dosis adecuada será la que permita mantener un cloro residual de 4 mg/l, más la demanda química de cloro.

$$\text{Dosis de cloro mg/l} = \text{Demanda química, mg/l} + \text{Cloro residual, mg/l}$$

Teóricamente la cantidad estequiométrica requerida de cloro es de:

$$0.214 * \text{mg/l [Mn}^{2+}] \times 1.355 \text{ mg NaClO / mg Mn} = 0.28997 \text{ mg/l de NaClO}$$

* corresponde a la concentración de manganeso encontrada en los resultados de calidad del pozo Trabajadores del Hierro.

$$\text{Dosis teórica mínima de cloro, mg/l} = 0.28997 + 4 = 4.28997 \text{ mg/l Cloro}$$

Cálculo del caudal de solución de NaClO a dosificar por el equipo de inyección de Químicos

El caudal de solución de Hipoclorito de Sodio se basa en la concentración de cloro activo que se utilizará para la oxidación

$$W_{NaClO} = \frac{W_{Cl_2} * 100}{(NaClO)} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$W_{Cl} = Q_D * Cl \dots\dots\dots(4.4)$$

$$Q_{NaClO} = \frac{W_{NaClO}}{\delta_{NaClO}} \dots\dots\dots(4.5)$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s
Q _D =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	5702.400 m ³ /d
Cl=	Dosis máxima de Cl ₂	8 mg/l	0.008 kg/m ³
(NaClO)=	Concentración de NaClO	12.5 %	
δ _{NaClO} =	Densidad de NaClO	1050 kg/m ³	

Cálculo

W _{Cl} =	Kg/día de Cl ₂	45.619 kg/día		
W _{NaClO} =	Kg/día de NaClO como solución	364.954 kg/día		
Q _{NaClO} =	Caudal de NaClO	0.348 m ³ /día	14.482 l/hr	3.831 gal/hr

Tabla 4.4 Características del equipo dosificador.

Características de equipo dosificador	
Cantidad	2
Capacidad máxima de dosificación	5 gph
Tipo	Simplex
Presión de descarga máxima	10.546 Kg/cm ² (175 psi)
Peso aproximado	50-58 kg.

El dimensionamiento del tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio se llevará a cabo en la sección correspondiente a desinfección de este documento. Debido a que, se plantea la construcción de un tanque cisterna para el almacenamiento del total de NaClO requerido para la operación de la planta, tanto en el proceso de oxidación, como en el de desinfección.

4.1.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE MEZCLADO

El sistema de mezclado para el proceso de oxidación de la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro consta de dos etapas. La primera es la de un mezclado rápido, cuyo objetivo principal es poner en contacto íntimo las moléculas de cloro con las de manganeso, la segunda etapa es la de maduración, esta con el fin de proporcionar el tiempo necesario para que la reacción de oxidación pueda ser completada.

La primera etapa del proceso de mezclado, se llevará a cabo, mediante el empleo de un mezclador estático montado en línea, mientras que la segunda etapa será a través de un tanque de contacto.

Cálculo del mezclador estático

La mezcla del hipoclorito de sodio y el agua cruda se efectuará en la línea de proceso mediante un mezclador estático horizontal del tipo flujo pistón, con elementos removibles de polipropileno (PPL) el cual deberá proveer un gradiente de mezclado de 400 - 20000 seg^{-1} en un tiempo de residencia menor de 1 seg. El mezclador contará con un elemento de inyección de reactivo.

El método de cálculo será el recomendado por KENICS STATIC MIXER-SINGLE PHASE-LIQUID FLOW^{2, 3, 4}

MEMORIA DE CÁLCULO DE MEZCLADOR ESTÁTICO

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO

CLAVE: ME-1101

$$A_F = \frac{Q_D}{V_F} \quad Q = Q_D + Q_{REAC} \quad \Delta P_M = \Delta P * K \quad G^2 = PV/\mu \quad v = A * L$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 * (A_F)}{\pi}} \quad R_e = \frac{\partial V d}{\mu} \quad K = K_{OR} * B \quad H = 2.31 * \Delta P_{MEZ} / s.g. \quad T = v/Q$$

$$P = Q * H * \text{seg}/3960$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s	
Q _D =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	0.066 m ³ /s	
V _F =	Velocidad recomendada	2 m/s	6.562 ft/s	
(NaClO)=	Concentración de NaClO	12.5 %		
d _{NaClO} =	Densidad de NaClO	1050 kg/m ³		
Q _{REAC} =	Caudal de reactivo	14.482 L/h	0.0040 L/seg	
Q=	Flujo	66.0040 L/seg	237614.48 l/h	1045.50 gpm
d =	Diámetro de la línea	8.07 pulg		
d _c =	Diámetro comercial de la línea	8 pulg	0.2032 m	0.6667 ft
d _n =	Diámetro nominal	7.981 pulg	0.2027 m	0.6651 ft
A _F =	Area de flujo	51.1501 pulg ²	0.0330 m ²	0.3474 ft ²

GRADIENTE DE VELOCIDAD

PROPIEDADES DEL AGUA

T =	Temperatura de operación	20	°C				
δ =	Densidad	0.998	gr/cm ³	62.25	lb/ft ³	998.00	Kg/m ³
μ =	Viscosidad	8.94E-03	gr/cm-s	6.00E-04	lb/ft-s	1.00	cp
s.g. =	Gravedad específica	0.9982					
Re =	No. De Reynolds	4.53E+05					

Como Re es mayor que 2000, se requiere de un solo Modulo con 6 elementos de Mezclado

De tablas de fabricante (Soulzzer)

L =	Longitud del modulo de mezclado	6.27	ft	1.91	m
ΔP =	Cálculo de la caída de presión en el tubo	0.053	psi		
ΔP_M =	Caída de presión en el Mezclador	6.0208	psi		
K =	Factor de corrección por elementos	113.6			
K_{OT} =	Constante de fabricante	28.4			
B =	Constante de fabricante (De Gráfica)	4			
G^2 =	Gradiente medio de velocidad	172997.4	(seg. ⁻¹) ²		
G =	Gradiente medio de velocidad	415.9296	seg. ⁻²		
H =		13.933	ft		
P =	Potencia disipada	3.68	Ohp _{agua}	2743.1096	watts
v =	Volumen del mezclador	0.063066	m ³		
F =	Flujo	0.066004	m ³ /s		
T =	Tiempo de contacto	0.95549	seg.		

El mezclador estático deberá ser especificado con elementos construidos de polipropileno, en carcasa de acero al carbón, el mezclador estático debe ser especial para oxidación de Manganeseo.

Cálculo del tanque de contacto

Consideraciones:

- La configuración del tanque de contacto, deberá ser tal que se produzca en el un patrón de flujo con el menor número de cortos circuitos, esta situación es equivalente a tener condiciones muy cercanas al flujo tipo pistón.
- El tanque de contacto deberá ser cerrado y de cámaras rectangulares con mamparas longitudinales para una mejor aproximación al flujo pistón.
- Se diseñarán cámaras con relaciones largo / ancho de 10:1 para aproximar el tiempo de residencia hidráulico al tiempo de contacto.
- Se mantendrá una velocidad uniforme a través de la cámara de contacto preferiblemente mayor de 1.0 m / s, para disminuir la probabilidad de sedimentación de sólidos en la cámara.

MEMORIA DE CÁLCULO DEL TANQUE DE MADURACIÓN

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
 CLAVE: TC-1100

$$V = T_c \cdot Q_D \quad h_r = V / (W \cdot L) \quad h_r = h_r + B_L \quad G = \text{Raiz}(\chi \cdot Q \cdot h) / (\mu \cdot v)$$

$$N_m = N_c - 1 \quad A_v = 1.5 \cdot A \quad L_m = L - A_v$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s	
Q ₀ =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	3.960 m ³ /m	0.066 m ³ /s
Tr=	Tiempo de Contacto	10 min		
V=	Velocidad	2 m/s		
VI=	Volumen Libre (altura)	0.3 cm	0.003 m	

CÁLCULO TANQUE DE CONTACTO

V=	Volumen total del tanque	39.60 m ³	
T _c =	Tiempo de contacto	10 min	600 seg
L=	Longitud (propuesta)	6 m	
BL=	Altura libre	0.35 m	
W=	Ancho (propuesto)	4 m	
h _c =	Altura del canal	1.65 m	
h _t =	Altura total del canal	2.0 m	
A=	Ancho de canal	0.8 m	
N _c	No. de canales	4	
N _m =	No. de mamparas	3	
A _v	Apertura de la vuelta	1.2 m	
L _m =	Longitud de mampara	4.8 m	
L/D =	Relación Largo/Ancho	30	

GRADIENTE DE MEZCLADO

$$\Delta h = 1.5 \cdot K \cdot V^2 \quad G = \sqrt{\frac{\lambda \cdot Q \cdot h}{\mu \cdot V}}$$

G=	Gradiente de velocidad	430.78 s ⁻¹
h ₁ =	Pérdidas por fricción	0 m
Δh=	Pérdida de carga por vueltas	18 m
K=	No.de vueltas en la camara	3
χ=	Peso específico del agua	9807 N /m ³
v=	Volumen del tanque	48 m ³
μ=	Viscosidad del agua	0.001308 N s/m ²

Se utilizará un vertedor del tipo rectangular, para mantener los niveles de operación en las cámaras de contacto

ESTRUCTURA DEL EFLUENTE

$$H = \left(\frac{Q}{(1.8 * B)} \right)^{2.3} \qquad h_v = h_t - H - B_L$$

H	Carga sobre el vertedor	0.13 m
B	Longitud del vertedor (Ancho de canal)	0.8 m
h_v	Altura a la que se coloca	1.52 m

Se consideran un total de 4 canales longitudinales, con un ancho de muro de mamparas de 0.25 m, y un total de 3 mamparas, los canales del tanque de contacto serán de 0.80 cm de ancho, con estas características la relación largo/ancho es: 24m/0.80m = 30.

El agua efluente de oxidación vierte a un tanque de bombeo, en el cual tendrá un tiempo de residencia de 5 min., para posteriormente ser bombeada a las unidades de filtración. A continuación se presenta el dimensionamiento del tanque de bombeo a filtración.

MEMORIA DE CÁLCULO DEL TANQUE DE BOMBEO A FILTRACIÓN

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
 CLAVE: CB-1100

$$H = \frac{V_T}{W * L}$$

$$V_T = T_r * Q$$

$$H_T = H + V_I$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s	
Q_D	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	3.960 m ³ /m	0.066 m ³ /s
Tr=	Tiempo de Retención	5 min		
Bl=	Volumen Libre (altura)	0.35 m		
L=	Largo del tanque	4 m		
W=	Ancho del tanque	2.5 m		

CÁLCULO

V_T	Volumen total del tanque	19.80 m ³	
H=	Altura del Tanque	1.98 m	
H_T	Altura total del Tanque	2.33 m	2.3 m

4.2 FILTRACIÓN

El presente capítulo corresponde al diseño del sistema de filtración que se utilizará para potabilizar el agua del pozo Trabajadores del Hierro, el cual tiene la finalidad de retener los microfloculos de manganeso (Mn^{4+}) formados mediante la oxidación con hipoclorito de sodio en la línea de proceso.

Este sistema fue diseñado tomando en consideración la cinética de reacción y las condiciones hidrodinámicas que rigen el proceso de oxidación de manganeso con cloro.

La filtración es un proceso fisicoquímico que permite la separación de la fase líquida de la fase sólida (sólidos suspendidos) que se genera por la acción oxidante del cloro, esto es a través de un material poroso.

Entre otros aspectos la filtración:

- Remueve partículas y material coloidal no sedimentable.
- Incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, DQO, metales pesados, bacterias, virus y otras sustancias.
- Mejora la eficiencia y reduce el costo del proceso de desinfección a través de la remoción de materia suspendida.
- Asegura una calidad constante hacia el proceso de desinfección.

Dadas las características de los sólidos suspendidos que se eliminarán, la filtración que se utilizará para la planta será del tipo a presión. En esta modalidad, el medio poroso se encontrará confinado en un tanque metálico cerrado con tapas toriesféricas, donde la fuerza impulsora necesaria es ejercida por la acción del bombeo. La selección del tamaño efectivo del medio poroso y su altura dependerá de la velocidad de filtración o carga hidráulica superficial (CHS), de la pérdida de carga hidrostática (ΔP) y el tamaño de la partícula que será filtrada. Estos filtros trabajan con altas pérdidas de carga, en un rango entre 2 y 19 m.c.a. y velocidades de filtración de 5 a 50 m/h.

4.2.1. BASES DE DISEÑO

De acuerdo con la información reportada en la bibliografía especializada y a los resultados experimentales de las pruebas de tratabilidad, las bases de diseño para la operación de filtración son las mostradas en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Bases de diseño del sistema de filtración

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION
Flujo de diseño	66 L/seg
Tipo de filtros	Verticales, rápidos a presión
Tipo de lecho	lecho dual
Tipo de flujo	Descendente
Sistema de retrolavado	Con agua a presión por bombeo
Medio filtrante	Arena sílica /Antracita
Profundidad total	0.60 metros
Profundidad de arena sílica	0.20 metros
Profundidad de antracita	0.40 metros
Carga Hidráulica Superficial de diseño (CHS_d)	55 m ³ /m ² .dia , 276.08 l/m ² m
Velocidad de filtración de diseño (v_d)	0.005 m/s
Temperatura de diseño (T)	20°C
Pérdida de carga en lecho sucio (ΔP_f)	148.12 c mca
Tasa de retrolavado (CHS_R)	1055.62 l/m ² -min
Expansión máxima del empaque (Δh)	12%
Granulometría del lecho filtrante de antracita	Tamaño efectivo: 0.94mm Coeficiente de uniformidad : 1.74 Tamaño en el percentil 60 (P60) : 1.084 mm. Tamaño en el percentil 10 (P10) : 0.656mm. Tamaño en el percentil 30 (P30) : 0.80 mm. Esfericidad (ϕ):0.53 Porosidad (ϵ):0.40 Factor de forma (S) :1.70
Granulometría del lecho filtrante de arena	Tamaño efectivo: 0.65 mm Coeficiente de uniformidad : 1.65 Tamaño en el percentil 60 (P60) : 1.084 mm. Tamaño en el percentil 10 (P10) : 0.656mm. Tamaño en el percentil 30 (P30) : 0.80 mm. Esfericidad (ϕ):0.75 Porosidad (ϵ):0.0445 Factor de forma (S) :1.70
Composición de la cama de grava soporte	100 mm. de grava de 6.4 mm de ϕ (1/4") 100 mm. de grava de 12.7 mm de ϕ (1/2") 100 mm. de grava de 9.05 mm de ϕ (3/4") 100 mm. de grava de 3.75 mm de ϕ (1/8")
Drenaje	
Sistema de distribución	Placa de acero perforada, con boquillas
Hidráulica de filtración	Ecuación de Rose
Hidráulica del retrolavado	Modelo de Amirtharajah-Cleasby
Captación y destino de aguas de retrolavado	Las aguas de retrolavado, serán captadas en un tanque cisterna, para ser filtradas y posteriormente mezcladas con la corriente a desinfección, para formar parte del efluente de la planta.

4.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS FILTROS

El dimensionamiento de las unidades de filtración se lleva a cabo de la siguiente manera:

La selección del área y diámetro de los filtros queda definido por las siguientes relaciones matemáticas:

$$\text{CHS}_f = Q_f/A_f \dots\dots\dots(4.6)$$

$$D_f = \sqrt{(4A/\pi)} \dots\dots\dots(4.7)$$

Donde:

CHS_f = Carga hidráulica superficial de filtración a la cual trabajará el filtro equivalente a 297.55 m³/m²-dia.

Q_f = Flujo de filtración correspondiente a 66 L/seg como flujo máximo.

D_f = Diámetro del filtro

Con la ayuda de las formulas anteriores y las bases de diseño establecidas, el dimensionamiento de las unidades de filtración es el siguiente:

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO

CLAVES: FA-1101/1102/1103/1104

$$A = Q / CHF$$

$$D = \left(4A_F / \pi \right)^{1/2}$$

$$Q_r = Q / N$$

$$A_F = A / N$$

BASES DE DISEÑO

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.06 m ³ /s
Q _D =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	5702.40 m ³ /día
C.H.F.=	Carga hidráulica superficial*	276.08 L/m ² m	397.56 m ³ /m ² día
C.H. _{RET.} =	Carga hidráulica de retrolavado *	1055.62 l/m ² m	1520.09 m ³ /m ² día

CÁLCULOS

A=	Área de filtración	14.344 m ²
N=	No.de filtros	4
A _F =	Área por filtro	3.586 m ²
D=	Diámetro del filtro	2.137 m
Q _F =	Gasto por filtro	16.5 L/seg
Dc=	Diámetro definitivo del Filtro	2 m

RESUMEN

No. de filtros	4	unidades
Diámetro de filtro	2	m
Área de filtro	3.1416	m ²
Carga hidráulica de filtración	315.12605	l/m ² m
Velocidad de filtración	0.0052521	m/s
Caudal de retrolavado	55.272263	lps
Velocidad de retrolavado	0.0175937	m/s

El caudal de agua de retrolavado es aproximado, al caudal total de la planta, por lo tanto, el retrolavado se efectuará de la siguiente manera:

- Se retrolava un filtro a la vez
- El retrolavado se hará con el equipo de bombeo a red de distribución
- El tiempo de retrolavado es de 8 min
- El retrolavado del siguiente filtro será, como mínimo 2 hrs. Después, que es el tiempo estimado para el desalajo del tanque de aguas recuperadas

-El arreglo hidráulico, deberá ser tal, que permita esta operación sin problema alguno

4.2.3. CÁLCULO DE LA ΔP EN LECHO LIMPIO EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN

En la simulación a escala piloto del tren de potabilización propuesto para éste pozo, se observó que la duración de la corrida de filtración sería de 36 hrs, con una caída de presión de 0.2 Kg/cm², sin deterioro de la calidad. Sin embargo, aunque se cuenta con estos resultados, es necesario hacer la revisión teórica de la caída de presión en el proceso de filtración a lecho limpio, con la finalidad de poder diseñar el tanque para éste proceso.

Con las condiciones de filtración establecidas anteriormente, se analizará la hidráulica de los lechos filtrantes, la cual será calculada con las ecuaciones de Rose¹³, para la pérdida de carga en un lecho filtrante estratificado:

$$h_L = \left(\frac{1.067 * v_f^2 * L}{\emptyset * g \varepsilon^4} \right) * \sum \frac{C_D * f}{d} \dots\dots\dots(4.8)$$

Donde:

h_L = Pérdida de carga a través del lecho (metros de columna de agua)

V_f = Velocidad de filtración, (m/seg)

L = Profundidad del lecho, (m)

C_D = Coeficiente de arrastre.

f = Fracción masa de las partículas de arena de diámetro “d”

d = Diámetro de los granos de arena, (m)

g = Aceleración debida a la gravedad, (m/s²)

ε = Porosidad del lecho filtrante

\emptyset = Factor de forma de la partícula, algunos autores, llaman al factor de forma, esfericidad ϕ , y el factor de forma propiamente dicho al cual llama S, está relacionado con la esfericidad por:

$$S = 6.0 /$$

$$\phi \dots\dots\dots(4.9)$$

Para evitar confusión en la ecuación de Rose¹³ aplicable a este caso, $\phi = \emptyset$.

La ecuación de Rose permite usar el coeficiente de arrastre C_D el cual es función del número de Reynolds, por lo tanto toma en cuenta el régimen hidrodinámico que se tiene en el lecho poroso lo cual no sucede con otros modelos hidráulicos.

El coeficiente de arrastre es calculado con las relaciones de Camp-Stokes de acuerdo a:

$$\begin{array}{ll} C_D = 0.4 & \text{Para } Re > 10^4 \\ C_D = 24/Re & \text{Para } Re < 0.5 \end{array}$$

$$C_D = (24/Re) + (3/RAIZRe) + 0.34 \quad \text{Para } 0.5 < Re < 10^4$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

$$Re = \frac{d * v * \rho}{\mu}$$

Donde:

d = Diámetro de la partícula, m.

v = Velocidad de filtración, m/seg

ρ = Densidad del agua, kg/m³

μ = Viscosidad dinámica, N-seg/m² = cP * 10⁻³ N-seg/m².

Tomando los datos de la granulometría para la arena sílica descrita anteriormente y de acuerdo con las propiedades del agua @ a 20 °C tenemos los siguientes cálculos:

Cálculo de la caída de presión para arena sílica

La tabla 4.6 muestra las propiedades de la arena sílica, consideradas para este análisis

Tabla 4.6 Propiedades de Arena Silica

Concepto	Variable	Valor
Esfericidad	\emptyset	0.75
Porosidad	ϵ	0.445
Diámetro efectivo	d	0.665 mm
Profundidad del lecho	L	0.20m
Coefficiente de uniformidad	Cu	1.70
Densidad (agua)	μ	998 kg/m ³
Viscosidad (agua)	ϕ	1.02x10 ⁻³ N-s/m ²
Velocidad de filtración	v	5.25X10 ⁻³ m/s

tabla 4.7 Cálculo de la ΔP en lecho limpio de arena en el proceso de filtración

Tamiz No.	Apertura (mm)		Tamaño medio	Masa (gr)	Γ	acumulado	Re	C _D	C _D (f/d)	
10	12	1.651	1.680	1.67E-03	0.80	0.00160289	0.8	9.79	3.7516	3.61
12	14	1.680	1.410	1.55E-03	0.00	0	0.8	9.08	3.9796	0.00
14	20	1.410	0.833	1.12E-03	16.90	0.03386095	17.7	6.59	5.1509	155.52
20	30	0.833	0.590	7.12E-04	306.90	0.61490683	324.6	4.18	7.5483	6523.54
30	40	0.590	0.420	5.05E-04	172.30	0.3452214	496.9	2.97	10.1702	6952.42
40	CH	0.420	0.000	2.10E-04	2.00	0.00400721	498.9	1.23	22.4919	429.19
					0.20	0.00040072	499.1	0.00		
				499.10	1.00					
									Suma=	14064.28

Por lo tanto la pérdida de carga a través del lecho filtrante de arena será teóricamente la siguiente:

$$h_L = [1.067 (5.25 \times 10^{-3})^2 \times 0.2] / [(0.785 \times 9.81 \times (0.445)^4)] (14064.28) = 0.20 \text{ m.c.a.}$$

Cálculo de la caída de presión para antracita

La tabla 4.8 muestra las propiedades de la antracita, consideradas para este análisis

Tabla 4.8 Propiedades de Antracita

Concepto	Variable	Valor
Esfericidad	\emptyset	0.53
Porosidad	ϵ	0.58
Diámetro efectivo	d	0.90 mm
Profundidad del lecho	L	0.40 m
Coefficiente de uniformidad	Cu	1.74
Densidad (agua)	μ	998 kg/m ³
Viscosidad (agua)	ϕ	1.02x10 ⁻³ N-s/m ²
Velocidad de filtración	v	5.25X10 ⁻³ m/s

Tabla 4.9 Cálculo de la ΔP en lecho limpio de antracita en el proceso de filtración

Tamiz No.		Apertura (mm)		Tamaño medio	f	Re	C_D	C_D (f/d)
12	14	1.680	1.410	1.55E-03	0.2399	9.078	3.9796	617.93
14	20	1.410	0.833	1.12E-03	0.5	6.589	5.1509	2296.43
20	30	0.833	0.590	7.12E-04	0.0988	4.180	7.5483	1048.17
30	35	0.590	0.500	5.45E-04	0.0025	3.202	9.5114	43.63
35	40	0.500	0.420	4.60E-04	0.0099	2.703	11.0447	237.70
Suma=								4243.86

Por lo tanto la pérdida de carga a través del lecho filtrante de antracita será teóricamente la siguiente:

$$h_L = [1.067 (5.25 \times 10^{-3})^2 \times 0.4] / [(0.53 \times 9.81 \times (0.40)^4)] (4243.86) = 0.08 \text{ m.c.a.}$$

4.2.4. HIDRÁULICA DEL RETROLAVADO

El análisis de la hidráulica de retrolavado permitirá complementar el dimensionamiento de los tanques de filtración. En éste análisis se determinará la altura máxima del lecho expandido de arena-antracita y por tanto la altura total del recipiente, la capacidad del tanque de aguas recuperadas y el consumo diario de aguas de retrolavado.

De la bibliografía se encontró que de acuerdo con Kawamura¹⁴ un lecho estará completamente fluidizado cuando la fuerza friccional ejercida por el agua de retrolavado sea igual al peso de las partículas y cuando la velocidad de aproximación superficial de retrolavado exceda:

$$V_B = v_t \cdot \epsilon^{4.5}$$

$$\epsilon = (V_B / v_t)^{0.22}$$

Donde:

V_B = es la velocidad mínima de fluidización

ϵ = Es la porosidad del lecho

v_t = Es la velocidad terminal.

Kawamura observó que en la mayoría de los casos comunes la tasa de retrolavado debería exceder 0.3 m/min (7 gpm/pie²) pero debería ser menor que 10D₆₀ m/min para la arena, donde D₆₀ es el tamaño de la partícula en el percentil 60 en mm. Estas observaciones fueron hechas a 20°C para arena con gravedad específica de 2.65

Kawamura encontró experimentalmente que la velocidad de retrolavado para máxima abrasión es aproximadamente la necesaria para un 10% de expansión del lecho, con lo cual se cumple la relación:

$$V_B = D_{60} \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

y la siguiente corrección por temperatura:

$$V_{B(T)} = V_B(20^\circ\text{C}) m^{(-1/3)}$$

Como puede esperarse, la tasa de retrolavado se deberá encontrar alrededor de estos valores, utilizando el modelo de expansión del lecho de Amirtharajah-Cleasby¹⁵ que a continuación se indica, se efectuaron cálculos para encontrar la tasa de retrolavado adecuado para una expansión máxima del 20%.

El modelo matemático aplicado para calcular el comportamiento hidráulico, la profundidad y la pérdida de carga de un lecho expandido estratificado de partículas uniformes esta representado por las siguientes ecuaciones:

$$hl = Le \left[\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right] * (1 - ee) \dots \dots \dots (4.9)$$

$$ee = \left(\frac{V}{k} \right)^{1/n} \dots \dots \dots (4.10)$$

$$k = \frac{V_{mf}}{e^n} \dots \dots \dots (4.11)$$

$$\frac{\rho^* V_s D_{60}}{\mu} \dots \dots \dots (4.12)$$

$$L * \left[\frac{1 - e}{1 - ee} \right] \dots \dots \dots (4.15)$$

$$= 0.00381 * D_{60}^{1.82} * \frac{[\rho^* (\rho_s - \rho)]^{0.94}}{\mu^{0.88}} \dots \dots \dots (4.16)$$

$$Re_{mf} = \frac{\rho^* V_{mf} * D_{60}}{\mu} \dots \dots \dots (4.17)$$

$K_R = 1.775 Re_{mf}^{-0.272}$	Sí $Re_{mf} > 10$
$(V_{mf})_{cor} = V_{mf} * K_R$	si $Re_{mf} > 10$

Donde:

- hl = Pérdida de carga en el lecho expandido
- Le = Profundidad del lecho expandido
- ρ_s = Densidad de la partícula
- ρ = Densidad del agua.
- ee = Porosidad del lecho expandido.

V = Tasa de retrolavado.

k = Constante.

n = Coeficiente de expansión de Amirtharajah.

V_{mf} = Velocidad mínima de fluidización

e = Porosidad de lecho no expandido.

V_s = Velocidad de asentamiento perturbada

Re_0 = Número de Reynolds de la partícula basado en V_s .

μ = Viscosidad, cP

D_{60} = Diámetro de la partícula en el percentil

k_R = Coeficiente de corrección a V_{mf} para números de Reynolds, $(Re_{mf}) >$ de

10.

Re_{mf} = Número de Reynolds de la partícula basado en V_{mf} .

A continuación se presentan las condiciones de la hidráulica de retrolavado de acuerdo con los modelos matemáticos de Amirtarajah-Cleasby¹⁵.

Hidráulica del retrolavado de filtros de arena, modelo Amirtharajah-Cleasby

ARENA

BASES DE DISEÑO

Concepto	Formula	Valor	Unidad	Valor	Unidades	Valor	Unidade
Caudal de operación	Q	60	L/seg	5184	m ³ /día	0.06	m ³ /s
Caudal de diseño	Q _D Q _D =1.1*Q	66	L/seg	5702.4	m ³ /día	0.066	m ³ /s
No. de Filtros	N _F	4					
Caudal de agua por filtro	Q _F Q _F =Q/N _F	16.5	L/seg	1425.6	m ³ /día	0.0165	m ³ /s

PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura de operación	T	20	°C				
Densidad	δ	0.998	gr/cm ³	62.2471	lb/ft ³	998	Kg/m ³
Viscosidad	μ	8.94E-03	gr/cm-s	6.00E-04	lb/ft-s	0.93	cp

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO

Diámetro del filtro	D	2	m				
Área superficial	A	A=(PI/4)- D ²	3.1416	m ²	33.82	ft ²	
Profundidad del lecho de arena	L ₁	0.2	m	20	cm		
Carga hidráulica de retrolavado	C.H. _{RE}	1055.62	l/m ² -min	1520.09	m ³ /m ² -día	25.30752	gpm/ft ²
Caudal de retrolavado	τ	4775.52354	m ³ /día	0.05527	m ³ /s	55.27226	L/seg
Velocidad de retrolavado	V _R	855.6146343	gpm	0.017593667	m/s	63.3372	m/h
						1.759366	cm/s

PROPIEDADES DEL MEDIO

Esfericidad	φ	0.75					
Factor de forma	S	0.75					
Porosidad	E	0.445					
Diámetro efectivo	d _e	1.1	mm	0.11	cm	0.33528	ft
Coefficiente de uniformidad	u	1.7					
Diámetro de partícula al	D ₆₀	1.1	mm	3.61E-	ft		

60%				03		
Densidad de partícula	δ_p	2.65	gr/cm ³	165.45	lb/ft ³	2652.3349 kg/m ³ 2
Gravedad Especifica de partícula	Ss	2.65				

RESULTADOS

Concepto		Valor	Unidades	Valor	Unidades
Velocidad mínima de fluidización	V_{mf}	18.33738	gpm/ft ²	4.08E-02	ft/s
No. de Reynolds de fluidización mínima	Re_{mf}	15.28470			
Factor de corrección calculado	K_R	0.84544			
Velocidad mínima de fluidización corregida	V_{mfc}	15.50307	gpm/ft ²	3.45E-02	ft/s
Velocidad de asentamiento de partícula	V_S	0.29171	ft/s		
No de Reynolds basado en V_S	Re_o	109.19284			
Coefficiente de expansión	n	2.78318			
Constante de expansión	K	147.60241			
Porosidad en expansión	ee	0.53068			
Profundidad del lecho expandido	L_e	0.23651	m	23.65113	cm
% De expansión	%Exp	18.25565	%		
Pérdida de carga	h_L	18.399	cm.c.a.		

Hidraulica del retrolavado de filtros de antracita, modelo Amirtharajah-Cleasby

ANTRACITA BASES DE DISEÑO

Concepto	Formula	Valor	Unidades	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Caudal de operación	Q	60	L/seg	5184	m ³ /día	0.06	m ³ /s
Caudal de diseño	$Q_D = 1.1 * Q$	66	L/seg	5702.4	m ³ /día	0.066	m ³ /s
No. de Filtros	N_F	4					
Caudal de agua por filtro	$Q_F = Q/N_F$	16.5	L/seg	1425.6	m ³ /día	0.0165	m ³ /s

PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura de operación	T	20	°C				
Densidad	δ	0.998	gr/cm ³	62.2471	lb/ft ³	998	Kg/m ³
Viscosidad	μ	8.94E-03	gr/cm-s	6.00E-04	lb/ft-s	0.93	cp

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO

Diámetro del filtro	D	2	m		
Área superficial	A	$A=(\pi/4)\cdot D^2$	3.1416	m ²	33.82 ft ²
Profundidad del lecho de arena	L _i	0.4	m	40	cm
Carga hidráulica de retrolavado	C.H. _{RE}	1055.6	l/m ² -min	1520.09	m ³ /m ² - 2 día
Caudal de retrolavado	T	4775.52354	m ³ /día	0.05527	m ³ /s 2
		855.6146343	gpm		2
Velocidad de retrolavado	V _R	$V_R=Q_F/A$	0.017593667	m*/s	63.3372 m/h 1.7593 cm/s 6667

PROPIEDADES DEL MEDIO

Esfericidad	φ	0.75			
Factor de forma	S	0.75			
Porosidad	E	0.58			
Diámetro efectivo	de	1.1	mm	0.11	cm
Coefficiente de uniformidad	u	1.7			0.33528 ft
Diámetro de partícula al 60%	D ₆₀	1.4	mm	4.59E-03	ft
Densidad de partícula	□ _p	1.73	gr/cm ³	107.9	lb/ft ³
					1729.748 kg/m ³ 7
Gravedad Especifica de partícula	S _s	2.65			

RESULTADOS

Concepto	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Velocidad mínima de fluidización	V _{mf}	13.21250	gpm/ft ²	2.94E-02 ft/s
No. de Reynolds de fluidización mínima	Re _{mf}	14.01652		
Factor de corrección calculado	K _R	0.86559		
Velocidad mínima de fluidización corregida	V _{mfc}	11.43661	gpm/ft ²	2.55E-02 ft/s
Velocidad de asentamiento de partícula	V _S	0.21519	ft/s	
No de Reynolds basado en V _S	Re _{co}	102.52014		
Coefficiente de expansión	n	2.80078		
Constante de expansión	K	52.58763		
Porosidad en expansión	ee	0.77018		
Profundidad del lecho expandido	L _e	0.73100	m	73.099938 cm

% De expansión	%Exp	82.74985	%
Pérdida de carga	h_l	12.3180	cm.c.a.

4.2.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL FILTRO

El sistema de drenaje de los filtros, tiene la finalidad de servir como medio de soporte del lecho filtrante, sistema colector de agua filtrada y como sistema de distribución de agua de retrolavado. Para el sistema de drenaje de los filtros rápidos de la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro, se propone un falso fondo. El diseño hidráulica del sistema requiere de la definición de los siguientes puntos.

- Definición del sistema de distribución de agua filtrada
- Definición Del lecho soporte de grava
- Cálculo de la pérdida de carga en el lecho soporte (en operación y durante el retrolavado)

Definición del sistema de distribución de agua filtrada

Para la definición del sistema de distribución del falso fondo se requiere conocer:

- El tipo de boquillas a utilizar.
- El espaciamiento entre boquillas.
- No. de boquillas por filtro.
- Pérdida de carga que ofrecen las boquillas durante la operación de filtración y en retrolavado.

El sistema de distribución será un falso fondo, conformado por una placa de acero perforada, donde se colocarán **Boquillas, espaciadas 20 cm** (esta distancia entre centros de boquillas es la recomendada por el fabricante), con esta densidad, el total de boquillas a utilizarse en la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro es de **272 boquillas, 68 boquillas por cada filtro**.

Las pérdidas de carga producidas por este sistema de distribución se determinan a partir de datos que el fabricante proporciona. Las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 muestran el comportamiento de la pérdida de carga en el falso fondo, durante la filtración y el retrolavado.

Tabla 4.10 Caída de presión en Boquillas parcialmente obstruidas con medio fino de 0.5 mm (Filtración)

Velocidad de filtración			Pérdida de carga			
gpm/ft2	l/m ² -min	m ³ /m ² -día	" de agua	psi	cm.c.a.	m.c.a.
3.00	125.787	181.13328	2.30	0.083	5.842	0.05842
4.00	167.716	241.51104	3.00	0.108	7.62	0.0762
5.00	209.645	301.8888	5.00	0.108	12.7	0.127
6.00	251.574	362.26656	5.80	0.209	14.732	0.14732
7.00	293.503	422.64432	7.00	0.252	17.78	0.1778
8.00	335.432	483.02208	8.50	0.306	21.59	0.2159
9.00	377.361	543.39984	9.80	0.353	24.892	0.24892
10.00	419.29	603.7776	11.00	0.397	27.94	0.2794
11.00	461.219	664.15536	13.50	0.487	34.29	0.3429
12.00	503.148	724.53312	14.80	0.534	37.592	0.37592
13.00	545.077	784.91088	17.00	0.613	43.18	0.4318
14.00	587.006	845.28864	19.00	0.685	48.26	0.4826
15.00	628.935	905.6664	22.50	0.811	57.15	0.5715

Tabla 4.11 Caída de presión en Boquillas no obstruidas (Filtración)

Velocidad de filtración			Pérdida de carga			
gpm/ft2	l/m ² -min	m ³ /m ² -día	" de agua	psi	cm.c.a.	m.c.a.
3.00	125.787	181.13328	1.00	0.036	2.54	0.0254
4.00	167.716	241.51104	1.50	0.054	3.81	0.0381
5.00	209.645	301.8888	1.90	0.069	4.826	0.04826
6.00	251.574	362.26656	2.20	0.079	5.588	0.05588
7.00	293.503	422.64432	2.50	0.09	6.35	0.0635
8.00	335.432	483.02208	3.90	0.141	9.906	0.09906
9.00	377.361	543.39984	4.30	0.155	10.922	0.10922
10.00	419.29	603.7776	5.00	0.18	12.7	0.127
11.00	461.219	664.15536	6.00	0.216	15.24	0.1524
12.00	503.148	724.53312	7.00	0.252	17.78	0.1778
13.00	545.077	784.91088	8.00	0.288	20.32	0.2032
14.00	587.006	845.28864	9.50	0.343	24.13	0.2413
15.00	628.935	905.6664	10.50	0.379	26.67	0.2667

Tabla 4.12 Caída de presión en boquillas durante el retrolavado

Velocidad de filtración			Pérdida de carga			
gpm/ft ²	l/m ² -min	m ³ /m ² -día	" de agua	psi	cm.c.a.	m.c.a.
10.00	419.29	603.7776	7.00	0.252	17.78	0.1778
15.00	628.935	905.6664	15.50	0.523	39.37	0.3937
20.00	838.58	1207.5552	21.50	0.775	54.61	0.5461
25.00	1048.225	1509.444	35.00	1.262	88.9	0.889
30.00	1257.87	1811.3328	50.00	1.803	127	1.27

Definición del lecho de grava soporte.

La grava se coloca sobre el sistema de drenaje, cuando este lo requiere y tiene un doble propósito:

Servir de soporte al lecho de arena, durante la operación de filtración, para evitar que esta escape por los drenes.

Como medio de distribución del agua de retrolavado.

El tipo y tamaño del lecho de grava depende del sistema de drenaje que se use. Para drenajes con orificios menores a un mm, como es el caso de las boquillas propuestas para el falso fondo, se utilizará un lecho de grava, de acuerdo a la tabla 4.13 .

Tabla 4.13 Composición del lecho soporte de grava.

Tamaño (cm)	Profundidad del lecho (cm)
1/8" (0.3175 cm)	10.0
¼" (0.635 cm)	10.0
½" (1.27 cm)	10.0
¾" (1.905 cm)	10.0

La pérdida de carga en el lecho soporte de grava se calculan con la ecuación de Rose y se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14 Pérdida de carga en el lecho soporte de grava

Tamaño de grava	Profundidad del lecho (cm)	Tamaño Medio (m)	R _c	C _D	C _D /di	h _f (cm.c.a.)
0.318	10	0.00318	1.87E+01	2.3185	729.1032	0.0298715
0.635	10	0.00635	3.73E+01	1.4744	232.1909	0.0095129
1.27	10	0.0127	7.46E+01	1.0089	79.4430	0.0032548
1.905	10	0.01905	1.12E+02	0.8380	43.9887	0.0018022
					total	0.0444414

Los resultados anteriores, muestran que las pérdidas de carga, debida al lecho soporte de grava son mínimas.

Estimación de la altura del filtro

Para la estimación de la altura total del filtro, se deberán considerar, principalmente, la altura del falso fondo, el empaque y la profundidad del lecho expandido. La altura total del filtro se define como sigue:

Las alturas a considerarse se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Alturas consideradas para establecer la altura total del filtro

Concepto	Altura (m)
Bajo dren	0.40
Falso fondo	0.40
Lecho de arena	0.20
Lecho de antracita	0.40
Máxima pérdida de carga (36 hr)	1.45
Altura total	2.85 m

La altura total será de : 3.00 m

Para evitar la pérdida del lecho filtrante en el momento de retrolavar las unidades, la salida de aguas de retrolavado será por la parte superior del filtro, posteriormente esta se deriva a una línea independiente del efluente de filtración.

4.2.6 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro, es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular, son la más frecuentes ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

Se deben considerar las velocidades y diámetros adecuados para el manejo de los fluidos, en función de las características de cada proceso u operación unitaria. Cuidando con esto que la presencia de sólidos en suspensión no provoque problemas de precipitación o sedimentación en las líneas de conducción.

La Tabla 4.16 muestra las bases para el dimensionamiento de las líneas de conducción en el sistema de filtración.

Tabla 4.16 Bases de diseño para el dimensionamiento de líneas de conducción.

Tubería de filtro	Velocidad (pies/seg.)	Velocidad (m/seg.)
Influente con agua cruda	3 a 6	0.91 a 1.83
Influente con agua clorada	2 a 6	0.61 a 1.83
Efluente con agua filtrada	3 a 6	0.91 a 1.83
Agua de lavado de desecho	4 a 8	1.22 a 2.44
Agua de lavado limpia	8 a 12	2.44 a 3.66
Drenaje	12 a 15	3.66 a 4.75
Descarga de bombas	7.87 a 22.96	2.4 a 7

El diseño hidráulico de líneas de conducción se realizo en base a velocidades recomendadas, las formulas aplicadas, son las siguientes:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots(4.18)$$

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(4.19)$$

Donde:

A = Área transversal al flujo en la línea = (m²)

D= Diámetro nominal del tubo = (m)

V= Velocidad del fluido en la línea =(m/s)

Q= Flujo volumétrico (gasto) = (m³/s)

Los resultados del cálculo de las líneas de conducción para el sistema de filtración se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Dimensiones de líneas de conducción

Línea	Gasto m ³ /s	Diámetro pulg	Diámetro m	Área m ²	Velocidad m/s
Descarga de bombas	0.066	8	0.2032	0.0324	2.0352
Influente agua oxidada	0.0165	6	0.1524	0.0182	0.9045
Efluente agua filtrada	0.0165	6	0.1524	0.0182	0.9045
Salida de agua de retrolavado	0.055	6	0.1524	0.0182	3.0151

La conducción del agua oxidada a filtros, será a través de una bomba cuyo diámetro de descarga será de 8", el arreglo de las unidades de filtración es paralelo. La corriente se distribuirá de manera uniforme a los 4 filtros a través de una tubería de 6" de diámetro. Para conservar la velocidad en el cabezal de alimentación, se considera una reducción campana entre el influente al segundo y tercer filtro, en el caso del efluente, el cabezal recolector tendra también una reducción campana. Para ambos casos la reducción será de 8X6".

La salida de agua de retrolavado será a través de una tubería de 6" de diámetro.

4.3 ADSORCIÓN

4.3.1 LA ZONA DE TRANSFERENCIA DE MASA

El CAG se utiliza en tanques o columnas por las que circula el fluido que va a purificarse. ZTM es la porción de la cama de carbón en la que ocurre la adsorción. En otras palabras es la distancia entre la capa de carbón saturado, que esta encima, y la capa de carbón aún no utilizado, que esta abajo. Conforme continúa la operación de la columna, la ZTM se desplaza a través de toda su longitud, hasta que se parte exterior alcanza el fondo de la misma. Después de que toda la ZTM ha salido, la cama de carbón está saturada en su totalidad, y la concentración de la impureza en el efluente, C_f es la misma que en el influente C . Este punto en el que el soluto en el efluente rebasa un valor máximo establecido es conocido como punto de ruptura.

La curva de ruptura de un sistema de adsorción puede modificarse al cambiar el tiempo de contacto en cama vacía (TCCV). Este parámetro es el tiempo de residencia que tendría el fluido si la cama de carbón estuviera vacía; es decir, no corresponde al tiempo real de contacto entre el fluido y el carbón. El TCCV (minutos) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TCCV = V/F \quad \dots\dots\dots(4.20)$$

En donde V es el volumen de la cama de CAG (l) y es el flujo volumétrico (l/min). El TCCV puede variarse aumentando o disminuyendo la altura de la cama a un flujo constante o cambiando el flujo a una altura de cama constante. Al modificar el TCCV se altera la forma de la curva de ruptura y, por lo tanto, el tiempo en el que se llega al punto de ruptura. Mientras menor es el TCCV, más pronto se alcanza dicho punto.

Existe una clara relación entre el volumen de la cama y la frecuencia con la que se requiere sustituirse el carbón: mientras mayor es el volumen de la cama, menor es la frecuencia de sustitución. Al incrementar el TCCV no sólo se retrasa la aparición del punto de ruptura sino que se aumenta el grado de utilización de carbón. El porcentaje de carbón que está totalmente saturado en el punto de ruptura es mayor mientras más profunda sea la cama. Sin embargo, más allá de cierta altura de cama, es mayor el efecto de aumento del costo por el volumen adicional de la misma, que la disminución del costo por la mejor utilización del carbón; por lo tanto, existe una profundidad de cama óptima desde el punto de vista de costos.

4.3.2 RELACIÓN ENTRE EL PUNTO DE RUPTURA Y EL DISEÑO DEL SISTEMA

El tratamiento de agua con CAG tiene un objetivo definido, que consiste en lograr un efluente el que la concentración del soluto no sobrepase cierto valor. La obtención de varias curvas de ruptura a distintos TCCVs brinda la información necesaria para dimensionar el adsorbedor. El TCCV seleccionado para el diseño será aquel que

corresponda a la combinación más barata entre el volumen de adsorbedor y la frecuencia de sustitución del carbón. Esta selección se realiza de entre una gama de valores que va desde un adsorbedor muy grande con poca frecuencia de sustitución de carbón, hasta uno muy pequeño con mayor frecuencia de sustitución.

Al hablar de sustitución del carbón debe considerarse la posibilidad de reactivarlo. Cuando el volumen de carbón requerido es muy grande, como en el caso de muchas plantas municipales, puede llegar a ser conveniente la instalación de un homo de reactivación. En caso contrario, también es factible la reactivación, ya que muchos fabricantes de CAG brindan este servicio a un precio de entre 40 y 60% respecto al del carbón virgen. Este precio no incluye fletes, por lo que hay que considerarlos al realizar la evaluación de costos.

La curva de ruptura no sólo permite estimar la frecuencia de sustitución del carbón, sino que brinda información para decidir si es conveniente o no el uso de más de un adsorbedor conectado en serie, esta alternativa es atractiva cuando la ZTM es muy larga, lo que corresponde a una curva de ruptura muy acostada. Con este arreglo es posible sustituir solamente el carbón agotado del primer adsorbedor de la serie, mientras que se sigue utilizando el de los siguientes equipos.

4.3.3 ADSORBEDORES DE CAG, MODOS DE OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN

Flujo ascendente y descendente.

El CAG adsorbe de la misma manera, independientemente de que el fluido circule en sentido ascendente o descendente; por lo tanto, en ambos casos, las dimensiones de la cama y del equipo son iguales.

Cuando el flujo es descendente, el carbón también actúa como filtro, reteniendo los sólidos suspendidos en la parte superior de la cama. La desventaja esta en que hay que contar con una bomba capaz de vencer la caída de presión, que puede llegar a ser considerable cuando hay presencia de sólidos suspendidos. Al llegar a ser inaceptable la caída de presión, hay que efectuar un retrolavado. La frecuencia del mismo y la cantidad de líquido utilizado para esta operación pueden ser altas cuando la concentración de sólidos suspendidos en el líquido es alta. La tubería debe permitir el flujo descendente durante el ciclo de adsorción y ascendente durante el retrolavado.

La adsorción en flujo ascendente puede realizarse manteniendo la cama de carbón compacta o fluidizada. El segundo caso es el más común y se conoce como adsorción en cama expandida, que se utiliza en el tratamiento de líquidos con un alto contenido de sólidos suspendidos. La mayoría de estos sólidos no se retienen, sino pasan a través de las partículas de carbón a lo largo de toda la cama y salen con el efluente tratado, evitando así un taponamiento prematuro y las consiguientes pérdidas de tiempo y de agua para el lavado. En este modo de operación, la caída de presión es relativamente baja y sólo se requieren lavados ocasionales para remover sólidos suspendidos que se hallan acumulado. La tubería es más simple que en el caso de flujo descendente, ya que la dirección del flujo en el ciclo de adsorción es la misma que en el de lavado.

En los sistemas de cama expandida es importante mantener un buen control del flujo para lograr la expansión sin llegar a arrastrar las partículas de carbón hacia afuera del equipo. Esto es particularmente difícil cuando el líquido es viscoso. En este caso no se utiliza la cama expandida y si el flujo es ascendente se restringe la parte superior de la cama para mantenerla compacta.

Flujo por gravedad y flujo a presión

Los adsorbedores de carbón CAG para el tratamiento de agua y de líquidos en general pueden clasificarse en los de flujo por gravedad y los de flujo a presión. El primero se utiliza principalmente en aplicaciones que utilizan grandes volúmenes, como es el caso de las plantas municipales de potabilización o de tratamiento de agua residual. Estos generalmente son de concreto reforzado y de sección rectangular, normalmente no cuentan con una tapa superior, excepto cuando sea importante evitar ensuciamiento ocasionado por hojas y polvo. También existen adsorbedores de flujo por gravedad de tamaño pequeño, que pueden ser tanques de acero o plástico. Estos sólo se utilizan cuando no existe la posibilidad de bombear el fluido.

Los adsorbedores de flujo a presión son de acero o de fibra de vidrio. Generalmente son cilindros verticales, de tapas formadas, y se trabajan a presiones inferiores a 7 kg/cm^2 aunque su operación requiere de bombeo, tienen la ventaja de poder manejar mayores cargas hidráulicas flujo - por unidad de área de sección - lo que significa que son de menor tamaño por unidad de volumen de líquido tratado que los de flujo por gravedad. Las características básicas de los adsorbedores se muestran en la tabla 4.18 Existen además otras características diferenciadoras, como los distribuidores, colectores del líquido y los métodos de soporte de la cama.

Tabla 4.18 Principales características de los adsorbedores

Tipo de adsorbedor	Material	Diámetro	H de cama de CAG	Comentarios
Flujo por gravedad	Concreto reforzado	Generalmente son de sección rectangular	Hasta 1.2 m	La relación largo-ancho suele ser de 2/1. Requieren de un área relativamente grande.
Flujo a presión	Acero al carbón recubierto internamente	Hasta 3.5 m	Hasta 10.0 m	Requieren de un área relativamente pequeña.
Flujo a presión	Acero inoxidable 316 o fibra vidrio	Hasta 1.5 m	Hasta 3.0 m	Requieren de un área relativamente pequeña. Suelen ser rentables en tamaños no muy grandes.

Configuración de adsorbedores de CAG.

El CAG puede aplicarse en sistemas:

- De una sola columna
- De múltiples columnas
- ◆ En paralelo

- ◆ En serie
- ◆ Combinadas en serie-paralelo

La operación de una sola columna o en un sistema de múltiples columnas en paralelo es la más conveniente cuando:

- a) La ZTM es muy corta; es decir, la curva de ruptura para el carbón seleccionado es muy pronunciada hacia arriba.
- b) El tiempo de vida útil del CAG es relativamente alto y por lo tanto el costo de reemplazo o de regeneración es mínimo respecto al de toda la operación.
- c) No se justifica una segunda o tercer columna debido a que la disminución en el costo del CAG debido a su mejor aprovechamiento no cubre la inversión en equipo adicional.

De otro modo, debe diseñarse un sistema en serie de dos o más columnas. Además existe una situación particular en la que lo más probable es que se requiera el sistema en serie. Se trata de aquella en que la altura de una sola columna sería mayor que la del lugar en el que ésta se tiene que instalar.

Los sistemas en paralelo se usan en el caso de que el flujo que requiera tratarse sea muy considerable o cuando la caída de presión en un solo equipo vaya a ser muy grande. Con un sistema en paralelo, la potencia de bombeo, compresión o ventilación es menor, y en el caso de líquidos, particularmente de los que son viscosos, los materiales de las columnas y de las tuberías requieren de un menor espesor. Conviene que estas columnas sean iguales entre sí, se distribuyan con una separación uniforme, reciban la misma alimentación y descarguen en un cabezal común. Los sistemas en paralelo también se utilizan cuando resulta más práctico o económico el uso de dos o más columnas de menor diámetro que el de una sola.

En sistemas de una columna o en sistemas en paralelo, el carbón se descarga para su regeneración o disposición final casi nunca está totalmente agotado, debido a que la ZTM aún está dentro de la columna cuando se requiere la reposición.

En los sistemas en serie, el efluente de una columna es influente de la siguiente. Su operación permite una alta pureza en el efluente y el aprovechamiento de toda la capacidad del carbón utilizado. Cuando se ha saturado el carbón de la primera columna en la serie, se descarga para regenerarse o descartarse y se conecta otra columna con carbón fresco al final de la serie. El carbón removido está totalmente agotado o más agotado que el de las siguientes columnas en la serie, debido a que la ZTM ya terminó de pasar por ahí; por lo tanto, los costos de operación de estos sistemas suelen ser menores que los de los sistemas de una sola columna o los sistemas en paralelo que tratan el mismo fluido.

Un sistema combinado en serie-paralelo tiene tanto las ventajas de mayor eficiencia de los sistemas en serie, como las de la baja caída de presión y practicidad de los sistemas en paralelo.

Todo lo anterior se aplica a sistemas de lecho fijo, en los que el carbón permanece estático y el fluido circula en sentido ascendente o descendente.

4.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE CA

El diseño básico de un adsorbedor de CAG, consiste en el cálculo del volumen de la cama. Para hacerlo se requiere conocer caudal a tratar (Q), el tiempo de contacto en cama vacía (TCCV) y la carga hidráulica (C_H), esta última corresponde al flujo volumétrico por unidad de área del adsorbedor, es decir:

$$C_H = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(4.21)$$

En Donde C_H esta dada en Lpm/m^2 y A es el área de sección transversal en el sentido del flujo (m^2). El valor de C_H se elige de tal manera que la caída de presión a través de la cama de carbón no sea excesiva. La siguiente tabla muestra los valores recomendados para C_H .

Basados en la experiencia. Se puede observar que mientras menor es el tamaño del carbón, mayor es la C_H . Esto se debe a que a menor tamaño mayor es la capacidad de adsorción y por lo tanto el carbón puede tratar un flujo mayor por unidad de volumen de cama de carbón, debe de cuidarse que la caída de presión al operar el equipo con la C_H elegida no sea excesiva. En caso de serlo se deberá operar el equipo con una C_H menor.

Tabla 4.19 Valores recomendados de C_H

Tamaño de las partículas De CAG	8 X 16	8 X 30	12 X 40	20 X 50
APLICACIÓN	Lpm/m ² (gpm/pie ²)			
Decloración de agua con 5 mg/l de cloro libre	160 (4.0)	200 (5.0)	400 (10.0)	600 (15.0)
Potabilización de agua de pozo COD<2mg/l	80 (2.0)	100 (2.5)	200 (5.0)	300 (7.5)
Eliminación de olores de agua superficial con COD<2mg/l	80 (2.0)	100 (2.5)	200 (5.0)	300 (7.5)
Potabilización de agua superficial con COD<5mg/l	80 (2.0)	100 (2.5)	200 (5.0)	300 (7.5)
Tratamiento de agua residual municipal proveniente de tratamiento secundario, con COD<30mg/l si se quiere llegar a COD<2mg/l	80 (2.0)	100 (2.5)	200 (5.0)	300 (7.5)

Las siguientes ecuaciones son las relaciones matemáticas básicas entre las variables de diseño de un adsorbedor. Partiendo del dato conocido F y de un valor seleccionado de C_H se calcula A:

$$C_H = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(4.22)$$

$$TCCV = \frac{V}{F} \dots\dots\dots(4.23)$$

Con el valor seleccionado se de TCCV se calcula V y finalmente la altura de la cama de carbón a (m) se calcula con la siguiente ecuación

$$a = \frac{V}{1000A} \dots\dots\dots(4.24)$$

Cuando una aplicación es muy conocida se diseñan los adsorbedores con base en los valores recomendados de C_H y de TCCV sin hacer pruebas experimentales.

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
 CLAVES: FA-1201/1202

$$C_H = \frac{Q_D}{A} \qquad T_{CCV} = \frac{V}{Q_D} \qquad a = \frac{V}{1000A}$$

BASES DE DISEÑO

	Configuración	2 Columnas que operan en paralelo	
Q=	Caudal de la planta	60 l/s	0.06 m ³ /s
Q _D =	Caudal de diseño p/Columna	33 l/s	1980 l/m
C _H =	Carga hidraulica superficial	100 l/m ² m	144.00 m ³ /m ² día
T _{CCV} =	Tiempo de contacto en cama vacia	5 m	300 s

CALCULOS

D=	Diámetro de la columna	2 m	
A=	Area transversal en el sentido del flujo	3.1412 m ²	
V=	Volumen de carbón	9900 l	9.9 m ³
a=	Altura de la cama de carbón	3.152 m	
N _C =	No. De columnas	2	

Altura de la columna de adsorción

Para la estimación de la altura total de la columna de Adsorción, se deberán considerar, principalmente, la altura del falso fondo, el empaque y la altura del lecho expandido. La altura total la columna de Adsorción se define como sigue:

Las alturas a considerarse se muestran en la tabla 4.20.

Tabla 4.20 Alturas consideradas para establecer la altura total de la columna de Adsorción

Concepto	Altura (m)
Bajo dren	0.40
Falso fondo	0.40
Cama de carbón	3.15
Altura máxima de lecho expandido (40% de expansión)	4.41
Máxima pérdida de carga	1.0
Pérdida de carga a lecho limpio	0.40

La altura de cada columna de Adsorción será:

$$H_t = 6.60 \text{ m}$$

4.3.5 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro, es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular, son la más frecuentes ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

Se deben considerar las velocidades y diámetros adecuados para el manejo de los fluidos, en función de las características de cada proceso u operación unitaria. Cuidando con esto que la presencia de sólidos en suspensión no provoque problemas de precipitación o sedimentación en las líneas de conducción.

La tabla 4.21 muestra las bases para el dimensionamiento de las líneas de conducción en el sistema de Adsorción.

Tabla 4.21 Bases de diseño para dimensionamiento de las líneas de conducción.

Tubería de filtro	Velocidad (pies/seg.)	Velocidad (m/seg.)
Influyente con agua filtrada	3 a 6	0.91 a 1.83
Efluente con agua Adsorvida	3 a 6	0.91 a 1.83
Agua de lavado de desecho	4 a 8	1.22 a 2.44
Descarga de bombas	7.87 a 22.96	2.4 a 7

El diseño hidráulico de líneas de conducción se realizo en base a velocidades recomendadas, las formulas aplicadas, son las siguientes:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots(4.25)$$

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(4.26)$$

Donde:

A = Area transversal al flujom en la línea = (m²)

D= Diámetro nominal del tubo = (m)

V= Velocidad del fluido en la línea =(m/s)

Q= Flujo volumétrico (gasto) = (m³/s)

Los resultados del cálculo de las líneas de conducción para el sistema de filtración se presentan a en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Dimensiones de líneas de conducción

Línea	Gasto m3/s	Diámetro pulg	Diámetro m	Area m ²	Velocidad m/s
Influyente agua filtrada	0.033	6	0.1524	0.0182	1.8091
Efluente agua adsorbida	0.033	6	0.1524	0.0182	1.8091
Salida de agua de retrolavado	0.033	6	0.2032	0.0324	1.0176

La conducción del agua filtrada a las columnas de adsorción será a través del cabezal de recolección de filtros 8”, para reducir a 6” a cada una de las columnas. El arreglo de las columnas de Adsorción es en paralelo y la corriente se distribuirá de manera uniforme.

La salida de agua de retrolavado será a través de una tubería de 6” de diámetro.

4.3.6 OPERACIÓN DE UNIDADES DE ADSORCIÓN

El mejor diseño de las unidades de adsorción con CAG no asegura que los resultados serán efectivos y mucho menos que estarán en el punto óptimo. Es de igual importancia una operación adecuada sencilla en apariencia pero que debe realizarse respetando una serie de criterios. La gran mayoría de los problemas de campo relacionados a los sistemas de adsorción se deben a errores operativos.

La operación de un adsorbedor no sólo consiste en realizar su función principal sino de una serie de etapas algunas de ellas repetitivas que tienen que ver con la preparación del equipo, la instalación del carbón, el arranque y el mantenimiento del sistema.

Inspección del equipo

En caso de los adsorbedores a presión, si los equipos han operado durante años, la erosión, la corrosión y los esfuerzos mecánicos pueden llegar a provocar grietas y por lo tanto fugas, cuando esto ocurre cabe la posibilidad de cambiar el equipo completo. En el caso de adsorbedores de acero al carbón hay que inspeccionar el recubrimiento interno y en caso de existir puntos de oxidación o ampollas hay que repararlas. Las tuberías que están en contacto con el CAG también deben estar recubiertas en caso de que sean de acero al carbón.

Instalación del carbón y preparación del arranque

Para la instalación del carbón existen dos alternativas. Manualmente e hidráulicamente. En la primera debe de evitarse el contacto con las manos o con aquello que pueda contaminarlo. Si el adsorbedor es cerrado y una persona se introduce en el para realizar la instalación hay que tener cuidado ya que el carbón húmedo enrarece la atmósfera de oxígeno y existe riesgo de asfixia.

Después de instalado el carbón se inunda el equipo para que el agua llene los poros y desplace el aire contenido en ellos (24 hr aprox.), después debe de procederse a retrolavar para acelerar el proceso y para eliminar los finos de carbón.

Retrolavado

El retrolavado es una operación fundamental. Aunque su ejecución no es muy complicada, muchos operadores la realizan incorrectamente o con una frecuencia inadecuada, provocando con ello un gran número de problemas.

Razones para realizar un retrolavado

- Eliminar los sólidos retenidos
- Evitar la cimentación o petrificación de la cama de carbón
- Eliminar la biomasa excesiva que se genera en todas las camas de carbón
- Eliminar el hidróxido de calcio. Si la cama no se lava de una manera adecuada y con la frecuencia necesaria, el hidróxido termina depositándose en la superficie del carbón y muchos de los poros quedan bloqueados de forma permanente
- Eliminar burbujas que se forman debido a cambios de temperatura o por atrapamiento del aire provocando canalización del flujo

En esencia un buen retrolavado es el que logra: Expandir la cama en un 30 a 40% y estratificar las partículas de carbón al final de la operación.

Anteriormente, el agua de retrolavado generalmente se enviaba al drenaje, actualmente la escasez del líquido y una mayor conciencia han llevado a los diseñadores a encontrar opciones para el reúso de esta agua dentro de la misma planta.

Para lograr la estratificación hay que disminuir poco a poco el caudal de retrolavado. El flujo requerido para el retrolavado suele ser de entre 4 y 15 veces que el del ciclo de adsorción, dependiendo de la densidad aparente y del tamaño de la partícula de

carbón.

Frecuencia de retrolavados

La frecuencia del retrolavado se determina en base a uno de los dos siguientes parámetros:

- Máxima caída de presión permisible
- Intervalo de tiempo definido

El primero corresponde a los equipos cuya cama se obstruye con relativa facilidad.

Mientras menor es el tamaño de partícula de carbón mayor es la rapidez con la que se obstruye la cama. Si se trata de adsorbedores de flujo a presión, el retrolavado se efectúa generalmente cuando la caída de presión alcanza un valor de 0.7 Kg/cm^2 .

Antes de iniciar el retrolavado, la cama de carbón debe de estar completamente inundada. De no ser así, en lugar de expandirse, ésta se desplaza hacia arriba como un pistón. Este pistón sube con una fuerza tal que en adsorbedores de flujo a presión puede romper partes internas y dañar el mismo cuerpo del adsorbedor.

Es importante inspeccionar el interior de los equipos cada cierto tiempo con el objeto de detectar problemas. Para poder hacer una observación adecuada, hay que drenar el equipo. Entre los problemas que saltan a la vista están:

- Lodo sobre la superficie, esto puede indicar que no se ha logrado expandir la cama, o que el flujo es insuficiente para expulsar el lodo.
- Bolas de lodo, se forman como consecuencia del problema anterior, al hacerse más pesadas terminan por hundirse dificultando su detección y eliminación.
- Petrificación y agrietamiento de la cama.
- Cal sobre la cama.
- Pérdida de carbón.
- Ruptura del carbón.

La inspección permite además verificar que no existan puntos de oxidación en el interior del quipo o alteraciones en el distribuidor superior que puedan provocar canalización.

Es importante considerar que los retrolavados erosionan el carbón generando finos que son arrastrados hacia fuera del equipo.

4.4 DESINFECCIÓN

El propósito principal de la desinfección, es dejar el agua libre de cualquier microorganismo patógeno, antes de ser enviada a la red de distribución, de la misma manera, el agente desinfectante que se use deberá tener la particularidad de proporcionar un residual que garantice la calidad del agua.

Para el caso de la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro, el objetivo principal de este proceso es el de proporcionar el cloro residual que garantice la calidad del agua a lo largo de su recorrido por la red de distribución, puesto que en las operaciones previas, se llevo a cabo la oxidación de toda la materia (tanto orgánica como inorgánica) disuelta en el agua así mismo la destrucción de los microorganismos causantes de enfermedades.

Se considera que un residual de 0.5 mg/l, es el adecuado para asegurar la calidad bacteriológica del agua, exigida por la normatividad y criterios establecidos en materia de agua potable.

La desinfección en la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro, se hará con hipoclorito de sodio (NaClO), a una concentración de 12.5%

4.4.1 DISEÑO DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN

Normalmente la eficiencia de desinfección se evalúa de acuerdo al NMP/100 ml (número más probable de organismos coliformes totales por 100ml. de agua que puede ser eliminado).

En condiciones de buen mezclado en el punto de aplicación y condiciones de flujo tapón en la cámara de contacto, el modelo de primer orden de acuerdo a la teoría de desinfección, permite calcular la tasa de eliminación de microorganismos dada por:

$$dY /dt = -Kyt \quad \dots\dots\dots(4.27)$$

$$t^2 = (2/k) \log(Y_0 / Y) \quad \dots\dots\dots(4.28)$$

A un pH = 7.85 el valor de k para el cloro es de $\sim 6.02 \times 10^{-4} \text{ seg}^{-1}$ cuando se aplica a microorganismos coliformes, reemplazando y considerando la eficiencia de la desinfección como una magnitud relativa definida por:

$$\%e = 100 * [(Y_0 - Y) / Y_0] \quad \dots\dots\dots(4.29)$$

El tiempo de contacto para lograr una eficiencia de desinfección requerida está dado por:

$$t^2 = (2/k) \log[1/(1-e)] \quad \dots\dots\dots(4.30)$$

Donde el tiempo de contacto está en segundos.

Para una eficiencia de desinfección del 99.99% (3log) y considerando que únicamente se tendrá cloro residual libre, el tiempo de contacto será de:

$$t^2 = (2/k) \log(1/(1-0.9999)) \quad \dots\dots\dots(4.31)$$

$$t = 10 \text{ min.}$$

Considérese $t = 10$ min para propósitos de diseño, por otra parte, el residual de cloro deberá estar en el orden de 0.5 mg/l al final del tiempo de contacto, se considera que se tendrá solamente cloro residual libre, ya que la demanda química de cloro ha sido substancialmente eliminada por los procesos que preceden a la desinfección.

4.4.2 DOSIS DE CLORO

La dosis de cloro requerida para la desinfección varía de acuerdo con la calidad del agua a ser tratada. En el caso de la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro estará definida únicamente por la cantidad de cloro necesario para mantener un residual de 0.5 mg/l como máximo, ya que como se mencionó anteriormente el proceso anterior es un sistema de oxidación que se basa en el uso del hipoclorito de sodio para la oxidación del manganeso de manganeso 2^+ a manganeso 4^+ , dejando residuales marginales de cloro cercanos a 0.5 mg/l.

Sin embargo, para tener flexibilidad en la aplicación de la dosis de hipoclorito, se seleccionará un equipo para dosificar un máximo de 3 mg/l de hipoclorito de sodio, previniendo que eventualmente el equipo de cloración al punto de quiebre pudiera salir fuera de servicio, lo que proporcionará un margen de seguridad para seguir manteniendo la calidad bacteriológica del agua.

CÁLCULO DE CAUDAL DE BOMBAS DOSIFICADORAS DE NaClO

$$W_{Cl_2} = Q_D * Cl$$

$$Q_{NaClO} = \frac{W_{NaClO}}{\delta_{NaClO}}$$

$$W_{NaClO} = \frac{W_{Cl_2} * 100}{(NaClO)}$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s
Q _D =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	5702.400 m ³ /d
Cl=	Dosis máxima de Cl ₂	3 mg/l	0.003 kg/m ³
(NaClO)=	Concentración de NaClO	12.5 %	
δ _{NaClO} =	Densidad de NaClO	1050 kg/m ³	

Cálculo

W _{Cl₂} =	Kg/día de Cl ₂	17.107 kg/día		
W _{NaClO} =	Kg/día de NaClO como solución	136.858 kg/día		
Q _{NaClO} =	Caudal de NaClO	0.130 m ³ /día	5.431 l/hr	1.437 gal/hr

De acuerdo con los requerimientos de flujo de hipoclorito de sodio, de **5.43 l/h = 1.40 gph.** se seleccionó del catálogo de datos técnicos para bombas dosificadoras, MARCA: WALLACE AND TIERNAN- 44: SERIE DIAPHRAGM METERING PUMP, una bomba dosificadora de desplazamiento positivo, modelo Encore 700, del tipo soluciones suaves para una capacidad máxima de 2.5 gph. A continuación se presenta las especificaciones del equipo seleccionado.

Tabla 4.23 Características de bomba dosificadora

Características de bomba dosificadora	
Cantidad	2
Capacidad máxima de dosificación	2.5 gph
Presión de descarga máxima	10.546 Kg/cm ² (175 psi)

La solución de hipoclorito será inyectada al canal de desinfección a través de un difusor tipo cola de pescado de PVC o polietileno

4.4.3 CÁLCULO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO

La capacidad del tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO), se determinará a partir de la suma de las dosis máximas a utilizarse en las operaciones de oxidación y desinfección. Se considera un almacenamiento de reactivo máximo de 5 días.

$$V_t = Q_{NaClO\ ox} + Q_{NaClO\ des} \times T_A \quad \dots\dots\dots(4.32)$$

Donde:

V_t = Volumen total del tanque (m³)

$Q_{NaClO\ ox}$ = Caudal de NaClO para oxidación (m³/día)

$Q_{NaClO\ des}$ = Caudal de NaClO para desinfección (m³/día)

T_A = Tiempo de almacenamiento (días)

**DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE
DE ALMACENAMIENTO DE NaClO**

**PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
CLAVE: FB-1101**

Caudal de NaClO para oxidación	14.4823	L/hr	0.347575	m ³ /día
Caudal de NaClO para desinfección	5.4309	L/hr	0.130341	m ³ /día
Tiempo de almacenamiento	120	hr	5	días

Cálculos

Volumen del tanque	2389.577	L	2.389577	m ³
--------------------	----------	---	----------	----------------

Largo del tanque (propuesto)	W	1.5	m
Ancho del tanque (propuesto)	A	1.5	m
Altura del tanque	H	1.062034	
Bordo libre	B _L	0.5	m
Altura total	H _T	1.562034	m

Resumen

Largo del tanque	1.5	m
Ancho del tanque	1.5	m
Altura del tanque	1.5	m

Considerando un suministro periódico programado de hipoclorito de sodio a la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro cada 5 días, el volumen de almacenamiento deberá ser de 2389.47 litros. Así mismo, es necesario que el contenedor sea de un material que no reaccione con el hipoclorito de sodio y que no altere la calidad de este. Por estas razones se sugiere que el tanque cisterna sea recubierto con un material adecuado.

4.4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CONTACTO PARA DESINFECCIÓN

Recomendaciones de diseño

La configuración de este tanque deberá producir un patrón de flujo hidráulico con un mínimo de cortos circuitos, esta situación es equivalente a tener condiciones muy cercanas al flujo pistón.

Estudios de investigación llevados a cabo con la técnica de trazadores, han permitido establecer los factores y variables que afectan el diseño de la cámara, White ha resumizado los siguientes factores como los principales que afectan el diseño de la cámara:

- Profundidad del tanque en relación a la corriente de viento en la superficie del agua.
- Efecto de la configuración del flujo a la salida.
- Efecto de la configuración de las mamparas.
- Efecto de la relación Largo : Ancho.
- Configuración de la sección transversal.

En base a lo anterior es posible establecer las siguientes recomendaciones de diseño:

Se utilizarán cámaras cerradas si los efectos del viento son muy pronunciados. En el

caso de la planta potabilizadora Trabajadores del Hierro el tanque de contacto de cloro deberá ser cerrado. Las cámaras rectangulares con mamparas longitudinales darán la mejor aproximación al flujo tapón.

Se deberá mantener una velocidad uniforme a través de la cámara de contacto preferiblemente arriba de 2 m/min para disminuir el asentamiento de sólidos en la cámara.

MEMORIA DE CÁLCULO DEL TANQUE DE DESINFECCIÓN

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
 CLAVE: TC-1102

$$V = T_c \cdot Q_D \quad h_c = V / (W \cdot L) \quad h_t = h_c + B_L \quad G = \text{Raiz}(\lambda \cdot Q \cdot h / \mu \cdot v)$$

$$N_m = N_c - 1 \quad A_v = 1.5 \cdot A \quad L_m = L - A_v$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s	
Q _D =	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	3.960 m ³ /m	0.066 m ³ /s
T _r =	Tiempo de Contacto	5 min		
V=	Velocidad	2 m/s		
V _I =	Volumen Libre (altura)	0.3 cm	0.003 m	

CALCULOS TANQUE DE CONTACTO

V=	Volumen total del tanque	39.60 m ³	
T _c =	Tiempo de contacto	10 min	600 seg
L=	Longitud (propuesta)	6 m	
BL=	Altura libre	0.35 m	
W=	Ancho (propuesto)	4 m	
h _c =	Altura del canal	1.65 m	
h _t =	Altura total del canal	2.0 m	
A=	Ancho de canal	0.8 m	
N _c	No. de canales	4	
N _m =	No. de mamparas	3	
A _v	Apertura de la vuelta	1.2 m	
L _m =	Longitud de mampara	4.8 m	
L/D =	Relación Largo/Ancho	30	

GRADIENTE DE MEZCLADO

$$\Delta h = 1.5 \cdot K \cdot V^2 \quad G = \sqrt{\frac{\lambda \cdot Q \cdot h}{\mu \cdot V}}$$

G=	Gradiente de velocidad	23.71 s ⁻¹
h _f =	Pérdidas por fricción	0m

$\Delta h =$ Pérdida de carga por vueltas	18m
$K =$ No.de vueltas en la camara	3
$\rho =$ Peso específico del agua	9807N /m ³
$v =$ Volumen del tanque	48m ³
$\mu =$ Viscosidad del agua	0.001308N s/m ²

ESTRUCTURA DEL EFLUENTE

$$H = \left(\frac{Q}{(1.8 * B)} \right)^{2.73} \quad h_v = h_t - H - B_L$$

H	Carga sobre el vertedor	0.13 m
B	Longitud del vertedor (Ancho de canal)	0.8 m
$h_v =$	Altura a la que se coloca	1.52 m

4.4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN

El tanque de bombeo a red de distribución se dimensionará, considerando un tiempo de residencia de 10 min.

El tanque se encontrara adosado al tanque de desinfección, por lo que el ancho será el mismo que el de dicho tanque, a continuación se presenta el dimensionamiento del tanque

MEMORIA DE CÁLCULO DEL TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
CLAVE: CB-1102

$$H = \frac{V_T}{W * L}$$

$$V_T = T_R * Q$$

$$H_T = H + V_L$$

Bases de Cálculo

Q=	Caudal de la planta	60 L/seg	0.060 m ³ /s	
Q_D=	Caudal de diseño de la planta	66 L/seg	3.960 m ³ /m	0.066 m ³ /s
T_R=	Tiempo de Retención	10 min		
B_L=	Volumen Libre (altura)	0.35 m		
L=	Largo del tanque	4 m		
W=	Ancho del tanque	2.5 m		

CÁLCULO

V_T=	Volumen total del tanque	39.60 m ³	
H=	Altura del Tanque	3.96 m	
H_T=	Altura total del Tanque	4.31 m	4.3 m

de bombeo a red de distribución.

4.5 SISTEMA DE AGUAS RECUPERADAS

El agua proveniente del retrolavado de los sistemas de Filtración y Adsorción es un agua que no contiene materiales disueltos solamente contiene sólidos en suspensión así que su tratamiento se limitará a hacerla pasar por un proceso de Filtración para posteriormente pasar a formar parte del influente a Desinfección.

El sistema está compuesto por un tanque de almacenamiento de aguas recuperadas, un filtro de lecho dual a presión y un sistema de bombeo.

4.5.1 DIMENSIONAMIENTO DE TANQUE DE AGUAS RECUPERADAS

El Tanque de aguas recuperadas se dimensionará con capacidad para almacenar el volumen total del agua de retrolavado de una de las unidades de filtración.

DIMENSIONAMIENTO DE TANQUE DE AGUAS RECUPERADAS

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO

CLAVE: FB-1101

Bases de diseño:

Concepto	Formula	Valor	Unidades
Caudal de retrolavado		55	L/seg
		3.3	m ³ /min
Tiempo de retrolavado		10	min
Volumen total		33.0	m ³
Volumen de diseño		36.3	m ³
Ancho del Tanque (propuesto)	W		3.5 m m
Largo del Tanque(propuesto)	L		4 m
Altura del Tanque	$h=V/(W*L)$	2.5928	
Bordo libre	b_L	0.25	m
Altura total del Tanque	$h_T=h+b_L$	2.90	m
Altura total del Tanque		3.0	m

4.5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS

El filtro de aguas recuperadas tendrá la capacidad de filtrar el volumen de agua utilizado para retrolavar los filtros duales, el cual es de 55.55 L/seg. Este filtro será también del tipo rápido a presión, vertical de flujo ascendente.

DIMENSIONAMIENTO DE FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS

PLANTA: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
CLAVE: FA-1105

Concepto	Formula	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Caudal de retrolavado		55	L/seg		3.3 m ³ /min
Tiempo de retrolavado		10	min		
Volumen total		33	m ³		
Tiempo de desalojo de agua de retrolavado		2	hr		
Caudal de diseño	Q	16.5	m ³ /hr	396	m ³ /día
Caudal de diseño	Q _D = 1.1*Q	18.15	L/seg	435.6	m ³ /día
Carga hidráulica de filtración Experimental	C.H.F.	280	L/m ² m	403.2	m ³ /m ² día
Carga hidráulica de ret.	C.H. _{RET.}	1055.62	l/m ² m	1520.09	m ³ /m ² día

Cálculos

Area de filtración	A	A=Q/C.H.F.	1.08036	m ²	1.08036	m ²
No.de filtros (sugerido)	N		1		1	
Area por filtro	A _F	A _F = A/N	1.08036	m ²	1.08036	m ²
Diámetro del filtro	D	D=(4*A _F /PI) ^{1/2}	1.1728	m	1.1728	m
Gasto por filtro	Q _F	Q _F =Q/N	18.15	L/seg	435.6	m ³ /día

Valores corregidos

El diámetro de cada filtro calculado en la sección anterior, se redondea y las variables de proceso se calculan nuevamente con el diámetro corregido

Diámetro del filtro	D _c	1	m		2	m
Area coregida	A _{FIL}	A _F =PI/4*D _C	0.7854	m ²	0.7854	m ²
Carga hidráulica de filtración en operación	C.H.F.	C.H.F.=Q _F /A _F	1386.55	l/m ² m	554.622	m ³ /m ² día

Carga hidráulica de retrolavado en operación	C.H. _{RET.}	1055.62	L/m ² m	1520.09	m ³ /m ² día
Velocidad de filtración	V _f = Q _f /A _F	0.00642	m/s	0.00642	m/s
Flujo de retrolavado	Q _R	Q _R =C.H. _{RET} * A _F	13.8181	L/seg	49.745 m ³ /hr
Velocidad de retrolavado	V _R	V _R =Q _R /A _F	0.01759	m/s	63.3372 m/hr

Resumen

No. de filtros	1	unidades
Diametro de filtro	1	m
Area de filtro	0.7854	m ²
Carga hidráulica de filtración	1386.55	L/m ² min
Velocidad de filtración	0.00642	m/s
Caudal de retrolavado	13.8181	L/seg
Velocidad de retrolavado	0.01759	m/s

Los 36.9 m³ de agua de retrolavado serán recuperados durante el periodo en que los filtros grandes se encuentren en operación, esto es, durante 36 horas aproximadamente. Sin embargo, para prever cualquier saturación prematura de alguno de los dos filtros, la recuperación se realizará en 3 horas, considerando que el tanque de aguas recuperadas deberá estar vacío cuando se inicie el retrolavado de la segunda unidad e filtración. Se podrá utilizar los materiales filtrantes de los filtros grandes para empacar el filtro de aguas recuperadas. En este caso únicamente se utilizará arena sílica. En la Tabla 4.24 se presentan las especificaciones de los elementos filtrantes.

Tabla 4.24 Especificaciones de materiales filtrantes.

Especificaciones de material filtrante	
Granulometría del lecho filtrante	50 cm de Tamaño efectivo: 0.65 mm Coeficiente de uniformidad : 1.65 Tamaño en el percentil 60 (P60) : 1.084 mm. Tamaño en el percentil 10 (P10) : 0.656mm. Tamaño en el percentil 30 (P30) : 0.80 mm. Esfericidad: 0.75 Porosidad: 0.0445 Factor de forma (S) :1.70
Composición de la cama de grava soporte	10 cm de 1/8" (0.3175 cm) 10 cm de 1/4" (0.635 cm) 10 cm de 1/2" (1.27 cm) 10 cm de 3/4" (1.905 cm)

El agua que se desechará al drenaje será únicamente el producto del retrolavado del filtro de aguas recuperadas.

Cálculo de la pérdida de carga en el lecho limpio de arena

Siguiendo la misma metodología, el cálculo de la hidráulica de filtración aplicando el modelo matemático de Rose, es mostrado en la tabla 4.25

Tabla 4.25 Cálculo de la pérdida de carga en el lecho de arena.

Tamiz No.	Apertura (mm)	Tamaño medio	masa	f	acumulado	Re	C _D	C _D (f/d)
10 12	1.651 1.680	1.67E-03	0.80	0.00160289	0.8	1.09	25.2918	24.34
12 14	1.680 1.410	1.55E-03	0.00	0	0.8	1.01	27.1236	0.00
14 20	1.410 0.833	1.12E-03	16.90	0.03386095	17.7	0.73	36.6285	1105.91
20 30	0.833 0.590	7.12E-04	306.90	0.61490683	324.6	0.46	56.4149	48756.05
30 40	0.590 0.420	5.05E-04	172.30	0.3452214	496.9	0.33	78.3676	53572.64
40 CH	0.420 0.000	2.10E-04	2.00	0.00400721	498.9	0.14	183.5155	3501.84
			0.20	0.00040072	499.1	0.00		
			499.10	1.00				
Suma=								106960.77

Por lo tanto la pérdida de carga a través del lecho filtrante de arena será teóricamente la siguiente:

$$h_L = [1.067 (5.25 \times 10^{-3})^2 \times 0.2] / [(0.785 \times 9.81 \times (0.445)^4)] (106960.77) = 0.06 \text{ m.c.a.}$$

La altura total del filtro de aguas recuperadas es:

$$H_t = 0.40 + 0.50 + 1.0 = 1.90 \text{ m}$$

El filtro de aguas recuperadas se retrolava con agua proveniente del Tanque de aguas recuperadas

4.5.3 DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA RECUPERADAS

El dimensionamiento de las líneas de conducción del sistema de aguas recuperadas, siguió la metodología aplicada anteriormente, y, el resultado es el siguiente.

4.26 Dimensiones de líneas de conducción.

Línea	Gasto m ³ /s	Diámetro pulg	Diámetro m	Area m ²	Velocidad m/s
Descarga de bombas	0.0045833	4	0.1016	0.0081	0.5653
Influyente agua oxidada	0.0045833	4	0.1016	0.0081	0.5653
Efluyente agua filtrada	0.0045833	4	0.1016	0.0081	0.5653

Toda la tubería y accesorios comprendidos en el sistema de aguas recuperadas, será de 4" de diámetro.

4.6 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO

La energía necesaria para conducir el agua a través de las operaciones de Filtración y Adsorción hasta el Tanque de contacto para desinfección, será suministrada por bombeo. Para esta operación se instalara a la salida de la operación de Oxidación dos bombas centrifugas, en arreglo 1+1, es decir una operación y la otra estará en relevo. De la misma forma el efluente final de la planta será incorporado a la red de distribución municipal por medio de un sistema de bombeo en arreglo similar al anterior.

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total en un punto cualquiera referido a un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, y la altura debida a la velocidad. Y se expresa como sigue:

$$Z + \frac{P}{\rho g n} + \frac{V^2}{2 g n} = H \quad \dots\dots\dots(4.33)$$

Si las pérdidas debida a la fricción, se desprecian, la altura total H de la ecuación anterior permanecerá constante. Sin embargo en la realidad existen pérdidas de energía que deben ser incluidas en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto el balance de energía debe escribirse para dos puntos del fluido y la ecuación se escribe de la siguiente manera:

$$h_p = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \Delta h_{f1-2} \quad \dots\dots\dots(4.34)$$

Donde:

h_p = Cabeza o carga total de la bomba.

Δh_{f1-2} = Pérdidas debidas a la fricción.

Las pérdidas de presión o carga en un sistema de tuberías, obedecen a diferentes razones, entre las cuales se pueden mencionar:

- Pérdidas debido al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería y que están en función de la rugosidad de la superficie de la misma.
- Pérdidas debidas a cambios bruscos de diámetro por la colocación de reducciones.
- Pérdidas debidas a cambios de dirección del flujo.
- Obstrucciones en la trayectoria del flujo, pueden deberse principalmente a la presencia de válvulas u otros accesorios.
- En el caso de la planta Trabajadores del Hierro, se considerarán para el cálculo de la potencia de la bomba, las pérdidas de carga debido a la colmatación del lecho filtrante y la pérdida de carga en el sistema de Adsorción (Máxima pérdida de carga después de 36 horas de operación para los filtros).

La velocidad en una tubería es función de la presión o altura estática, y la pérdida de presión debida a la velocidad es:

$$h_l = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(4.35)$$

Esta se define como altura velocidad.

Por otra parte el flujo a través de una válvula o accesorio, causa también una disminución en la altura estática del sistema, y esta puede ser expresada en función de la altura velocidad como sigue:

$$h_l = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(4.36)$$

Donde K, se define como el coeficiente de resistencia y representa la pérdida de altura velocidad para una válvula o accesorio, y casi siempre se asocia con el diámetro al cual esta referida la velocidad. En la mayoría de las válvulas o accesorios, las pérdidas por rozamiento, son mínimas comparadas con las debidas a las otras mencionadas anteriormente.

El coeficiente de resistencia K, se considera independiente del factor de fricción y del Número de Reynolds.

La misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación de Darcy:

$$h_{fl} = K \frac{V^2}{2g_c} \dots\dots\dots(4.37)$$

$$K = f \frac{L}{D} \dots\dots\dots(4.38)$$

Donde:

h_{fl} = Pérdidas por fricción en accesorios y tubería (mca = metros de columna de agua).

f = Factor de fricción que esta en función del número de Reynolds y es adimensional.

L/D = Longitud equivalente en diámetros de tubería, que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo en las mismas condiciones de flujo (adimensional).

K = Coeficiente de resistencia adimensional.

La potencia o caballaje de la bomba queda definida por la siguiente ecuación:

$$(BHP) = \frac{QCDT}{0.76E} \dots\dots\dots(4.39)$$

Donde:

BHP = Potencia entregada en el eje o árbol propulsor de la bomba en HP.

Q = Capacidad de la bomba en L/seg.

C.D.T. = Carga dinámica total en mca.

E = Por ciento de eficiencia de la bomba.

4.6.1 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A FILTROS PRESURIZADOS

Planta: Planta potabilizadora Trabajadores del Hierro

Bases de diseño:

Caudal Q	60	L/seg	3.6	m ³ /m		
Caudal de diseño Q _D	66	L/seg	3.96	m ³ /m	0.066	m ³ /s
Fluido: Agua						
Densidad ρ	998.2	kg/m ³				
Viscosidad μ	0.0009	kg/m-s				
Temperatura	15-20	°C				
Aceleración de gravedad	9.81	m/s ²				

Tabla 4.27 Pérdidas por fricción a la descarga

Accesorio	Factor de fricción	Coefficiente de resistencia	Pérdidas por Fricción
	f**	K	hl=K*(V2/2*g)
Válvula Compuerta	0.022	0.000484	0.0610
Válvula de Retención	0.022	0.000484	0.6330
Codo 45°	0.022	0.000484	0.0750
Long de tramo recto 8"	0.022	0.00	0.4626
Codo de 90°			0.1407
Long de tramo recto 6"	0.024	0.00	1.2935
Codo 90°	0.024	0.00	0.0287
Reduccion 6X8"			0.0479
Válvula de mariposa	0.032	0.00	0.3066
Pérdidas totales en mca			3.0489

*Valores reportados en el apéndice A-22 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE
 **Valores reportados en el apéndice A-23 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE

Las pérdidas de carga a considerar se muestran en la tabla 4.28.

Tabla 4.28 Pérdidas de carga en el sistema.

Concepto	Valor	Unidades
Pérdidas por fricción	3.0489	mca
Pérdidas por columna de agua	10.0000	mca
Máxima pérdida en Filtración	20.00	mca
Máxima pérdida en Adsorción	20.00	mca
TOTAL	53.0489	mca

Así la carga dinámica total es:

CAT= 53.048 mca. La capacidad de la bomba GA-1101A/B es:

$$(BHP) = \frac{(66\text{ lps} * 53.048)}{0.76 * 85} = 54 \text{ Hp}$$

4.6.2 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN

Planta: Planta potabilizadora Trabajadores del Hierro

Bases de diseño:

Caudal Q	60	L/seg	3.6	m ³ /m		
Caudal de diseño Q _D	66	L/seg	3.96	m ³ /m	0.066	m ³ /s
Fluido: Agua						
Densidad ρ	998.2	kg/m ³				
Viscosidad μ	0.0009	kg/m-s				
Temperatura	15-20	°C				
Aceleración de gravedad	9.81	m/s ²				

Tabla 4.29 Perdidas por fricción a la descarga.

Accesorio	Factor de Fricción*	Coefficiente de resistencia **	Perdidas por Fricción (mca)
	f**	K	hl=K*(V2/2*g)
Válvula Compuerta	0.022	0.286	0.0610
Válvula de Retención	0.022	2.97	0.633
Codo 45°	0.022	0.352	0.0750
Long de tramo recto	0.022	0.870	0.185
Codo 90°	0.024	0.72	0.0287
Pérdidas totales en mca			0.9828

*Valores reportados en el apéndice A-22 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE

**Valores reportados en el apéndice A-23 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE

Las pérdidas de carga a considerar se muestran en la siguiente en la tabla 4.30.

Tabla 4.30 Pérdidas de carga en el sistema de filtración.

Concepto	Valor	Unidades
Pérdidas en accesorios	0.9828	mca
Presión requerida para descarga a red de distribución	33.9900	mca
TOTAL	34.9728	mca

Así la carga dinámica total es:

CAT= 34.9728 mca

La capacidad de la bomba es:

$$(BHP) = \frac{(66\text{ lps} * 34.9728)}{0.76 * 85} = 35.70 \text{ Hp}$$

4.6.3 CÁLCULO DEL EQUIPO DE BOMBEO A FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS

Planta: Planta potabilizadora Trabajadores del Hierro

Clave: GA-1103A/B

Parámetros de diseño:

Caudal Q	4.580	L/seg	0.275	m ³ /m
Caudal de diseño Q _D	5.28	L/seg	0.3025	m ³ /m
Fluido: Agua				
Densidad δ	998.2	kg/m ³		
Viscosidad μ	0.0009	kg/m-s		
Temperatura	15-20	°C		
Aceleración de gravedad	9.81	m/s ²		

Tabla 4.6.3.1 Pérdidas por fricción a la descarga.

Accesorio	Factor de fricción	Coefficiente de resistencia	Pérdidas por Fricción
	f**	K	hl=K*(V ² /2*g)
Válvula Compuerta	0.013	0.169	0.0032
Válvula de Retención	0.013	1.755	0.0337
Codo 90°	0.013	0.39	0.0224
Long de tramo recto	0.013	0.32	0.0061
Válvula de mariposa	0.013	0.26	0.0100
Pérdidas totales en mca			0.075404762

*Valores reportados en el apéndice A-22 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE

**Valores reportados en el apéndice A-23 de Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías CRANE

Las pérdidas de carga a considerar se muestran en la siguiente tabla 4.32.

Tabla 4.32 Pérdidas de carga en el sistema de aguas recuperadas.

Concepto	Valor	Unidades
Pérdidas en accesorios	0.075	mca
Pérdidas por columna de agua	2.5	mca
Maxima pérdida en lecho sucio	1.4810	mca
Pérdida por falso fondo	0.0367	mca
Pérdidas por el sistema de distribución	0.600	mca
TOTAL	4.09	mca

Así la carga dinámica total es:

CAT= 4.09 mca

La capacidad de la bomba es:

$$(BHP) = \frac{(4.58 \text{ lps} * 4.09)}{0.76 * 85} = 1.2899 \text{ Hp}$$

CAPÍTULO 5.- DOCUMENTOS DE INGENIERÍA BÁSICA DE PROCESOS



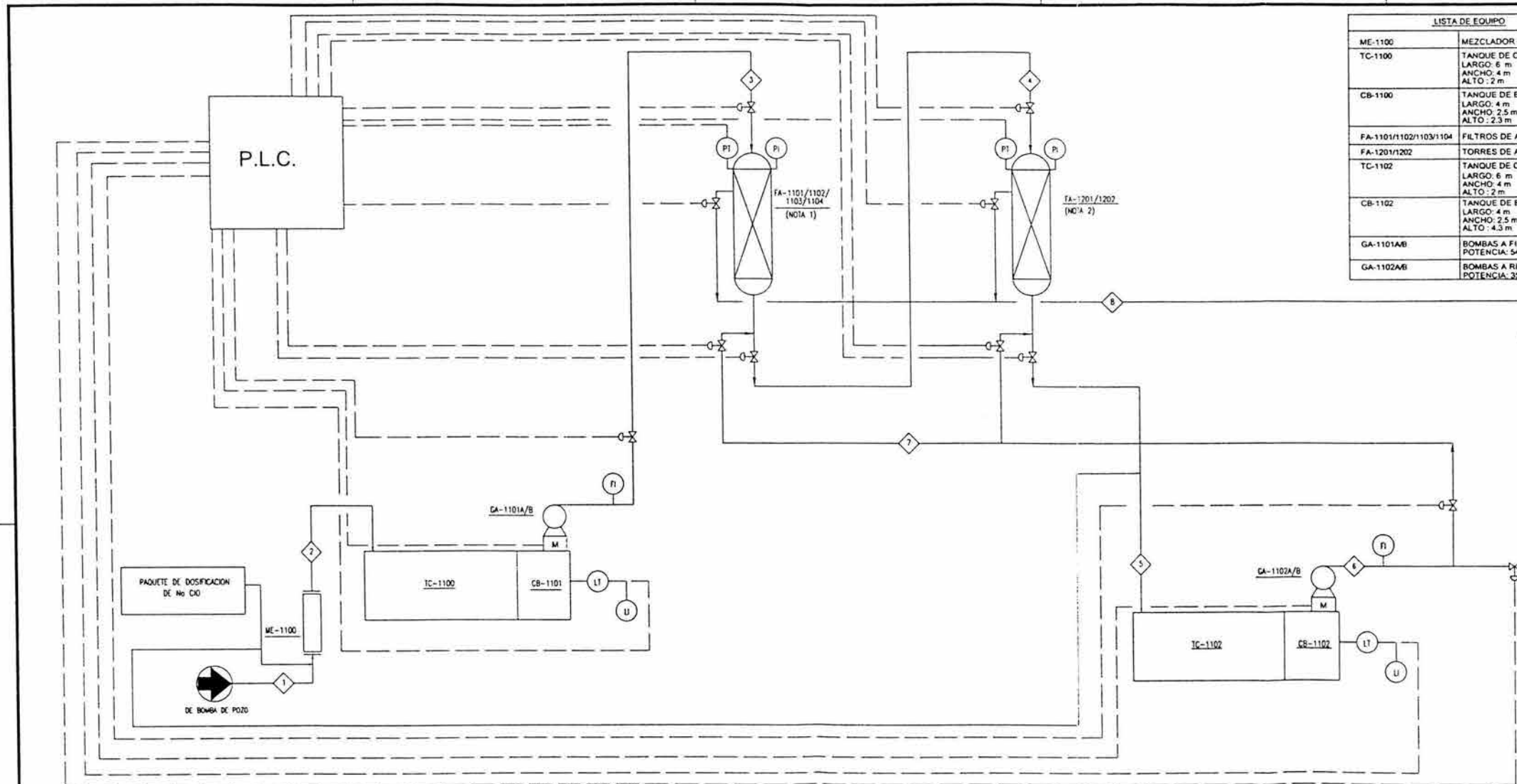
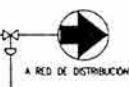
5.1 LISTA DE PLANOS Y DOCUMENTOS

Tabla 5.1 Lista de planos y documentos.

Documento	Descripción
Planos	
A-1100	Diagrama de Flujo de Proceso
A-1300	Plano de Localización General
A-1200	Plano de símbolos y notas generales
A-1201	DTI Oxidación-Tablero de Control
A-1202	DTI Filtración
A-1203	DTI Adsorción Desinfección
A-1204	DTI Tratamiento de aguas recuperadas
Hojas de datos	
HD-001	Hojas de datos Mezclador
HD-002-1	Hojas de Datos Filtros de arena
HD-002-2	Hojas de Datos Filtros de arena (aguas recuperadas)
HD-003	Hojas de Datos Filtros de Carbón
HD-004-1	Hojas de Datos Bombas a Filtración -Adsorción
HD-004-2	Hojas de Datos Bombas a Red de distribución
HD-004-3	Hojas de Datos Bombas de Aguas Recuperadas
Listas	
LE-001	Lista de equipo
Misceláneos	
IS-001	Índice de servicios

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

LISTA DE EQUIPO	
ME-1100	MEZCLADOR ESTÁTICO Ø: 8"
TC-1100	TANQUE DE CONTACTO PARA MEZCLADO LARGO: 6 m ANCHO: 4 m ALTO: 2 m
CB-1100	TANQUE DE BOMBEO A FILTRACION LARGO: 4 m ANCHO: 2.5 m ALTO: 2.3 m
FA-1101/1102/1103/1104	FILTROS DE ARENA Ø: 2m, L.T.T: 3 m
FA-1201/1202	TORRES DE ADSORCION Ø: 2 m, L.T.T: 6.6 m
TC-1102	TANQUE DE CONTACTO PARA DESINFECCION LARGO: 6 m ANCHO: 4 m ALTO: 2 m
CB-1102	TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCION LARGO: 4 m ANCHO: 2.5 m ALTO: 4.3 m
GA-1101A/B	BOMBAS A FILTRACION POTENCIA: 54 HP
GA-1102A/B	BOMBAS A RED DE DISTRIBUCION POTENCIA: 35.7 HP



BALANCE DE MATERIA

CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8
PARAMETRO	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
Q (l/s)								
T (°C)								
P (kg/cm ²)								
pH	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
COLOR (Upt/Co)	30	42	35	13	7.65	7.65	7.65	33.2
N-PROTEICO (mg/l)	0.10	0.010	0.010	0.010	0.0010	0.010	0.010	0.010
MANGANESO TOTAL (mg/l)	0.214	.214	.214	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

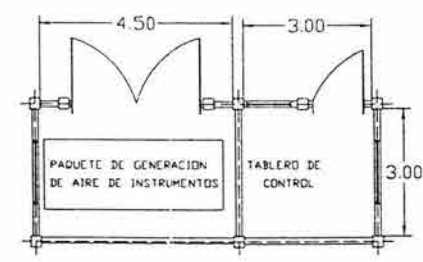
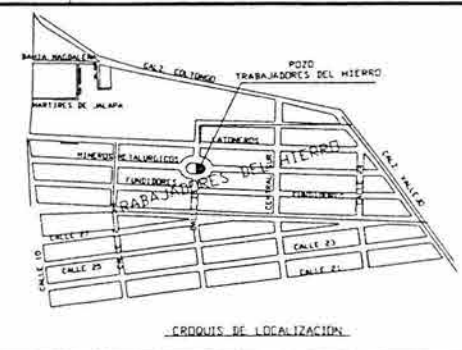
NOTAS:
 1.- LOS FILTROS DE ARENA OPERAN EN PARALELO. EL FLUJO SE DIVIDE EN 4 CORRIENTES DE 16.5 l/s CADA UNA CON LA MISMA CONCENTRACION DE PARAMETROS.
 2.- LOS FILTROS DE CARBON OPERAN EN PARALELO. EL FLUJO SE DIVIDE EN 2 CORRIENTES DE 33 l/s CADA UNA CON LA MISMA CONCENTRACION DE PARAMETROS.

REVISIONES	FECHA	POR	YR	NUM	DETALLES DE REFERENCIA
1	MAYO 2004	LPEL	RMG		

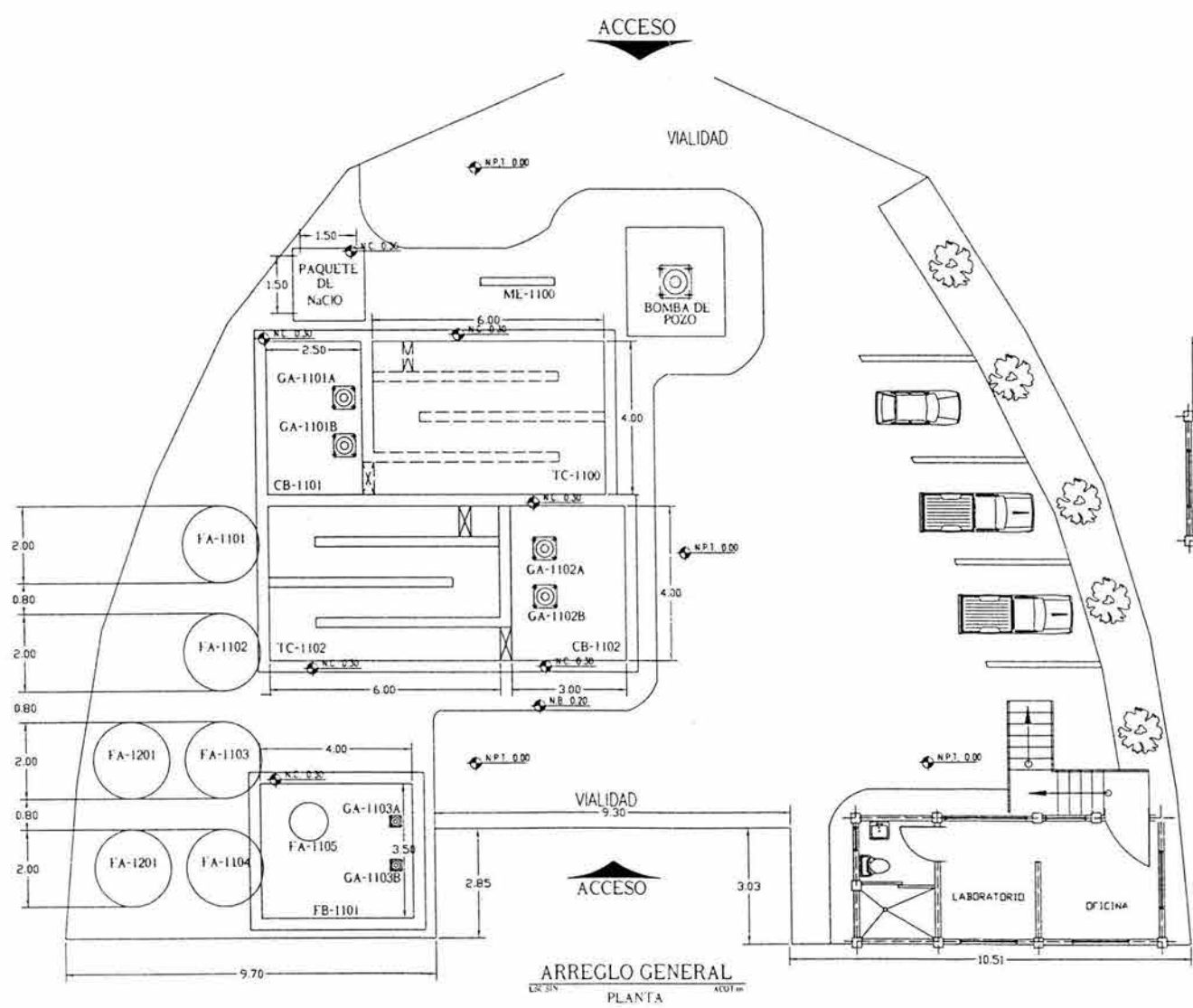
UNAM
IQ
 ZARAGOZA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 INGENIERIA QUIMICA

REVISOR	FECHA	REVISOR	FECHA

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
 PLANTA POTABILIZADORA
 TRABAJADORES DEL HIERRO
 A-1100



LISTA DE EQUIPO	
ME-1100	MEZCLADOR ESTATICO Ø 8"
TC-1100	TANQUE DE CONTACTO PARA MEZCLADO LARGO 6 m ANCHO 4 m ALTO 2 m
CB-1100	TANQUE DE BOMBEO A FILTRACION LARGO 4 m ANCHO 2.5 m ALTO 2.3 m
FA-1101/1102/1103/1104	FILTROS DE ARENA Ø 2m. L.T. 3 m
FA-1201/1202	TORRES DE ADSORCION Ø 2 m. L.T. 6.6 m
TC-1102	TANQUE DE CONTACTO PARA DESINFECCION LARGO 6 m ANCHO 4 m ALTO 2 m
CB-1102	TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCION LARGO 4 m ANCHO 2.5 m ALTO 4.3 m
GA-1101A/B	BOMBAS A FILTRACION POTENCIA: 54 HP
GA-1102A/B	BOMBAS A RED DE DISTRIBUCION POTENCIA: 35.7 HP



NOTAS:
 N.P.T. = Nivel de pisoterrado
 N.C. = Nivel de corona
 N.B. = Nivel de banquetta

Este predio se localiza en la glorietta que forman las calles: Mineros Merikarpicos, Fundidores y calle 16. Delegación Azcapotzalco. El área superficial es de 500m² aproximadamente.

REVISIONES	FECHA	POI	VO Bn	MAU	OBJETOS DE REFERENCIA
DESCRIPCION					
PARA COMENTARIOS	MAYO 2004	LPEB	RMS		

IQ
 ZARAGOZA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO	FECHA	ESCALA	ACOTACION
PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO	MAYO 2004	ESC. 50	ACOT. EN

PLANO DE LOCALIZACION GENERAL
PLANTA POTABILIZADORA
TRABAJADORES DEL HIERRO

A-1300

5.3 PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL

5.4 DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

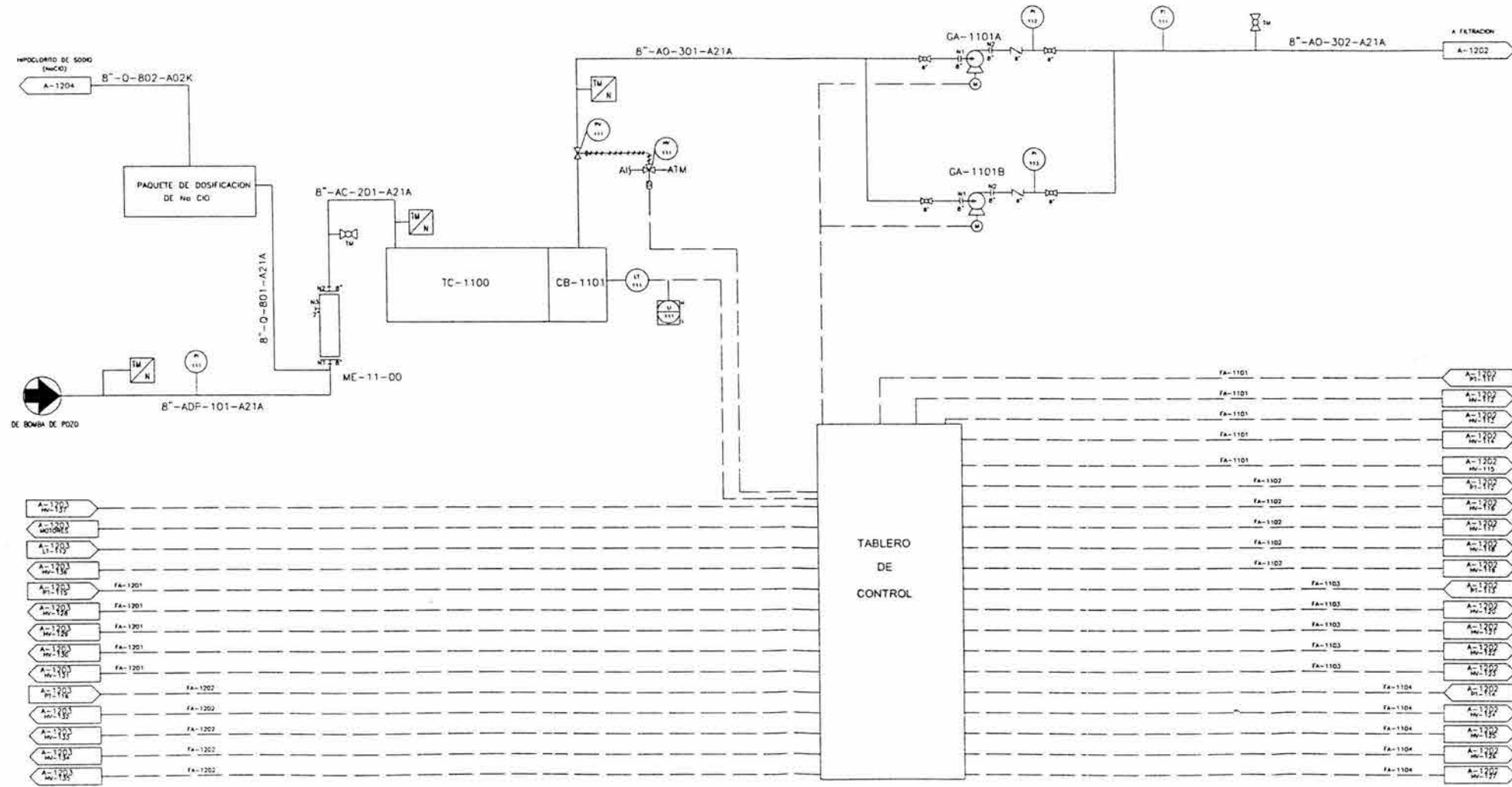
A-1200	Plano de símbolos y notas generales
A-1201	DTI Oxidación-Tablero de Control
A-1202	DTI Filtración
A-1203	DTI Adsorción Desinfección
A-1204	DTI Tratamiento de aguas recuperadas

ME-1100
 MEZCLADOR ESTÁTICO D. 8' CARCAZA DE AC. AL CARBÓN INTERNOS DE POLIPROPILENO

TC-1100
 TANQUE DE CONTACTO PARA MEZCLADO LARGO: 6 m ANCHO: 4 m ALTO: 2 m

CB-1100
 TANQUE DE BOMBEO A FILTRACION LARGO: 4 m ANCHO: 2.5 m ALTO: 2.3 m

GA-1101A/B
 BOMBAS A FILTRACION POTENCIA: 54 HP



- A-1201 Mw-137
- A-1201 Mw-138
- A-1201 Mw-139
- A-1201 Mw-140
- A-1201 Mw-141
- A-1201 Mw-142
- A-1201 Mw-143
- A-1201 Mw-144
- A-1201 Mw-145
- A-1201 Mw-146
- A-1201 Mw-147
- A-1201 Mw-148
- A-1201 Mw-149
- A-1201 Mw-150
- A-1201 Mw-151
- A-1201 Mw-152
- A-1201 Mw-153
- A-1201 Mw-154
- A-1201 Mw-155

- FA-1101 A-1202 Mw-114
- FA-1101 A-1202 Mw-115
- FA-1101 A-1202 Mw-116
- FA-1101 A-1202 Mw-117
- FA-1101 A-1202 Mw-118
- FA-1101 A-1202 Mw-119
- FA-1101 A-1202 Mw-120
- FA-1101 A-1202 Mw-121
- FA-1101 A-1202 Mw-122
- FA-1101 A-1202 Mw-123
- FA-1101 A-1202 Mw-124
- FA-1101 A-1202 Mw-125
- FA-1101 A-1202 Mw-126
- FA-1101 A-1202 Mw-127
- FA-1101 A-1202 Mw-128
- FA-1101 A-1202 Mw-129
- FA-1101 A-1202 Mw-130
- FA-1101 A-1202 Mw-131
- FA-1101 A-1202 Mw-132
- FA-1101 A-1202 Mw-133
- FA-1101 A-1202 Mw-134
- FA-1101 A-1202 Mw-135
- FA-1101 A-1202 Mw-136
- FA-1101 A-1202 Mw-137
- FA-1101 A-1202 Mw-138
- FA-1101 A-1202 Mw-139
- FA-1101 A-1202 Mw-140
- FA-1101 A-1202 Mw-141
- FA-1101 A-1202 Mw-142
- FA-1101 A-1202 Mw-143
- FA-1101 A-1202 Mw-144
- FA-1101 A-1202 Mw-145
- FA-1101 A-1202 Mw-146
- FA-1101 A-1202 Mw-147
- FA-1101 A-1202 Mw-148
- FA-1101 A-1202 Mw-149
- FA-1101 A-1202 Mw-150
- FA-1101 A-1202 Mw-151
- FA-1101 A-1202 Mw-152
- FA-1101 A-1202 Mw-153
- FA-1101 A-1202 Mw-154
- FA-1101 A-1202 Mw-155

REVISION	DESCRIPCION	FECHA	POR	VER	NUM	DESBLOS DE REFERENCIA
1	PARA COMENTARIOS	MAYO 2008	LPEL	BMS		

UNAM
IQ
 ZARAGOZA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO	FECHA	PROYECTISTA	REVISOR	COORDINADOR
PLANTA POTABILIZADORA	MAYO 2008	LPEL	BMS	BMS

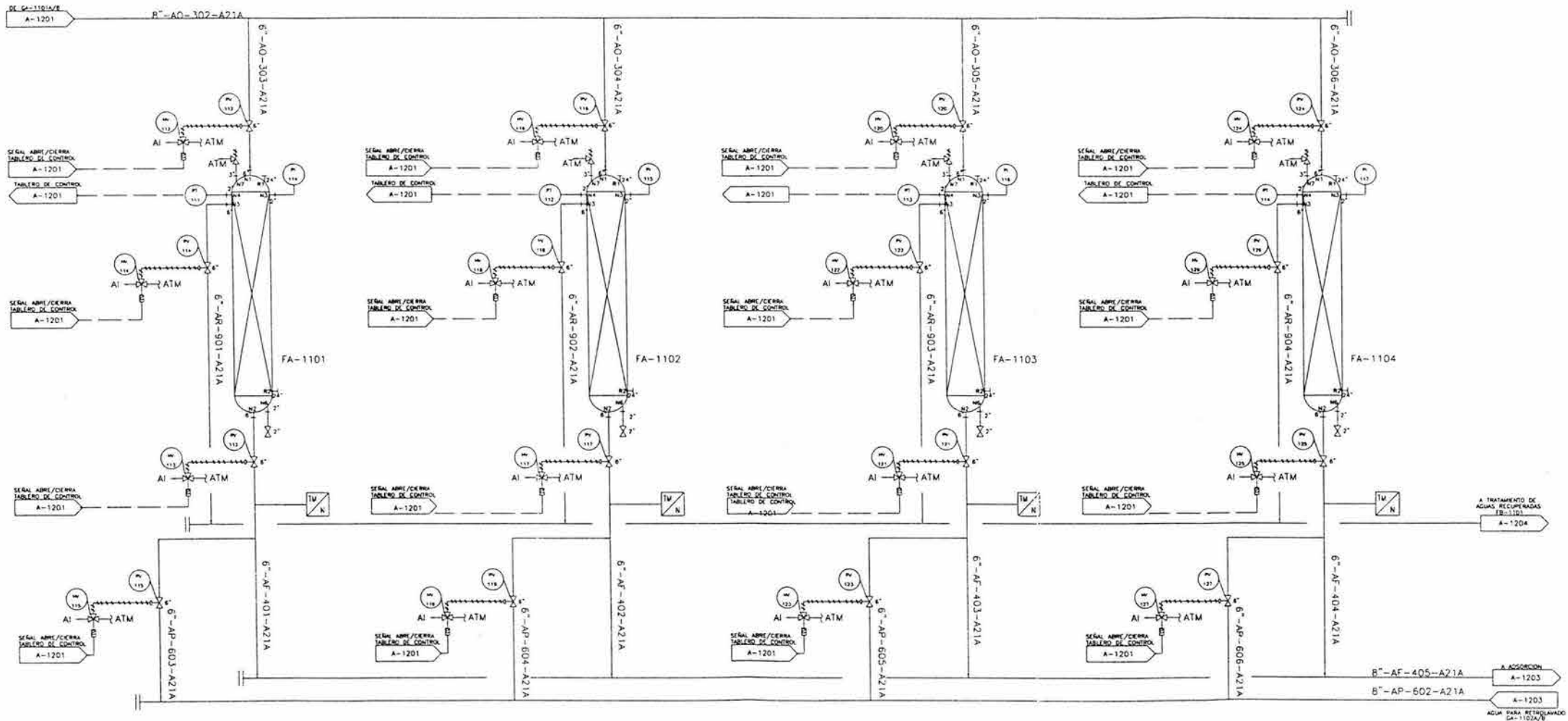
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
PLANTA POTABILIZADORA
TRABAJADORES DEL HIERRO
OXIDACION-TABLERO DE CONTROL
A-1201

FA-1101
 FILTRO DE ARENA
 Empaque:
 20cm de Arena
 40cm de Antracita
 Tipo: Presurizado
 Ø: 2m L.T-T: 3m

FA-1102
 FILTRO DE ARENA
 Empaque:
 20cm de Arena
 40cm de Antracita
 Tipo: Presurizado
 Ø: 2m L.T-T: 3m

FA-1103
 FILTRO DE ARENA
 Empaque:
 20cm de Arena
 40cm de Antracita
 Tipo: Presurizado
 Ø: 2m L.T-T: 3m

FA-1104
 FILTRO DE ARENA
 Empaque:
 20cm de Arena
 40cm de Antracita
 Tipo: Presurizado
 Ø: 2m L.T-T: 3m



REVISION	FECHA	PODI	VBH	NUM	DETALLES DE REFERENCIA
A	MAY.2004	LPEL	RMG		


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 INGENIERIA QUIMICA

DESIGNO	LPEL
PROY	LPEL
VER	LPEL
REVISO	RMG
EDICAO	RMG
MAIO.2004	ESC SE ACO1 EN

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
PLANTA POTABILIZADORA
TRABAJADORES DEL HIERRO
FILTRACION
A-1202

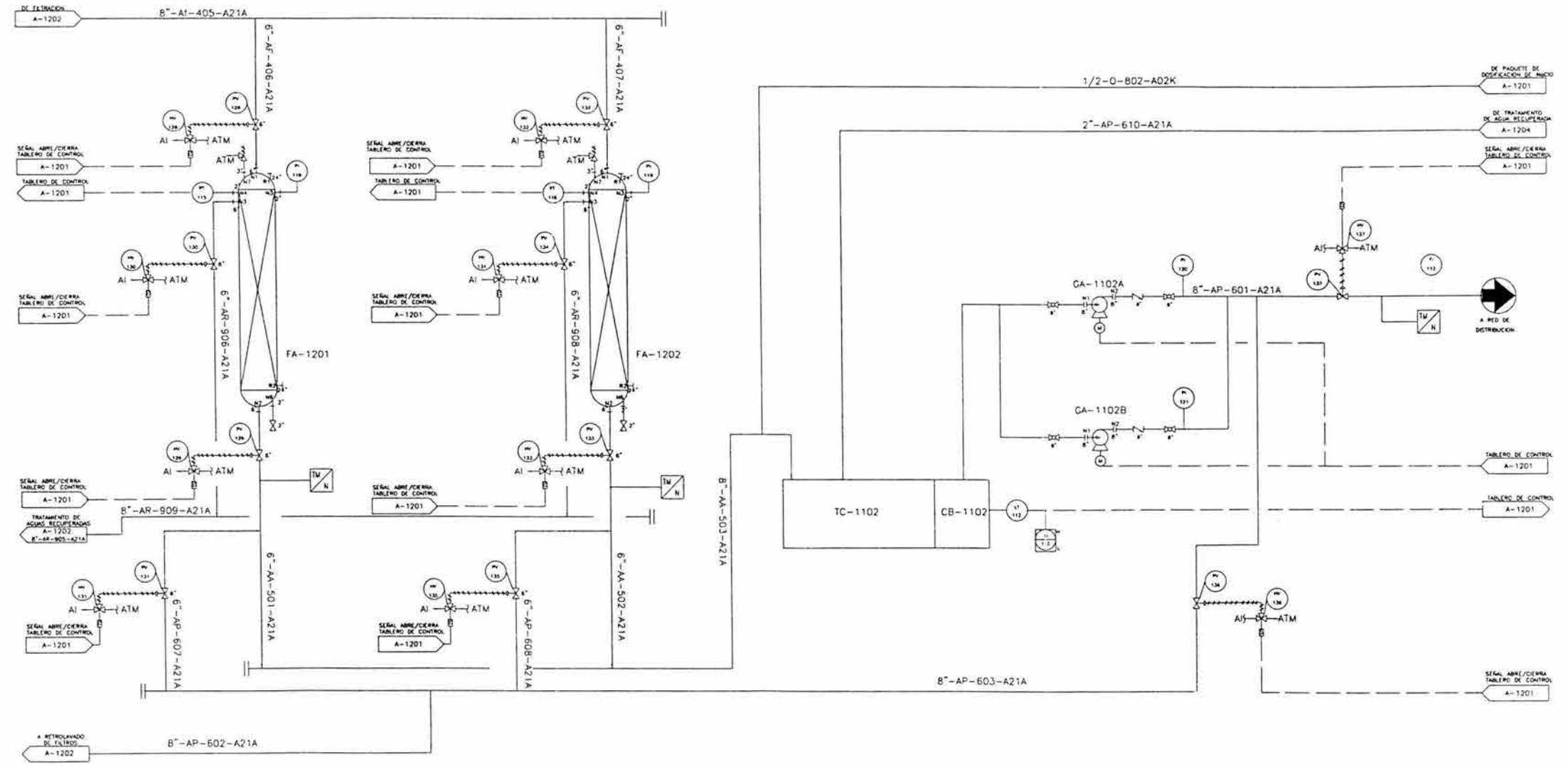
FA-1201
 FILTRO DE CARBON
 Empaque: 3.2 m DE CAG
 Soporte: 40 cm de Gravilla
 Ø: 2m L.T.: 6.6 m
 TCV: 5 min.

FA-1202
 FILTRO DE CARBON
 Empaque: 3.2 m DE CAG
 Soporte: 40 cm de Gravilla
 Ø: 2m L.T.: 6.6 m
 TCV: 5 min.

TC-1102
 TANQUE DE CONTACTO DESINFECCION
 LARGO: 6 m
 ANCHO: 4 m
 ALTO: 2 m

CB-1102
 TANQUE DE BOMBEO RED DE DISTRIBUCION
 LARGO: 4 m
 ANCHO: 2.5 m
 ALTO: 4.3 m

GA-1102A/B
 BOMBAS A RED DE DISTRIBUCION
 POTENCIA: 35.7HP



REVISIONES	FECHA	POR	VALOR	MAN	DIBUJOS DE REFERENCIA
A	MAYO 2004	LPEL	RMS		


UNAM
ZARAGOZA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO	ELABORADO	REVISADO	COMPROBADO	ESC. SE	ADDT. EN
	LPEL	LPEL	RMS		
FECHA					
MAYO 2004					

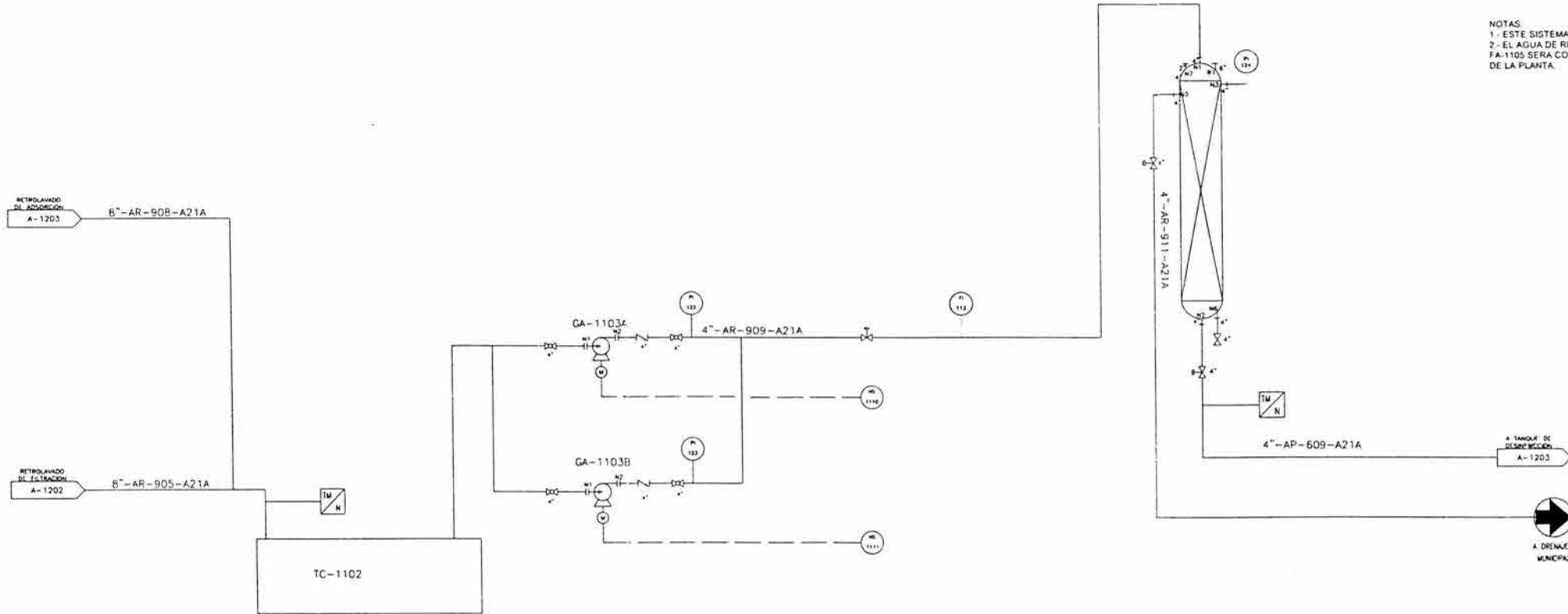
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
PLANTA POTABILIZADORA
TRABAJADORES DEL HIERRO
ADSORCION-DESINFECCION
A-1203

CB-1102
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RECUPERADA
LARGO: 4 m
ANCHO: 3.5 m
ALTO: 3 m

GA-1102A/B
BOMBAS FILTRO DE AGUA RECUPERADA
POTENCIA: 1.5 HP

GA-1102A/B
FILTRO DE AGUA RECUPERADA
DIAMETRO: 1 m
LONGITUD: 1.9 m

NOTAS
1.- ESTE SISTEMA ES DE OPERACION MANUAL
2.- EL AGUA DE RETROLAVADO DEL FILTRO
FA-1105 SERA CONFINADA AL SISTEMA DE DRENAJE
DE LA PLANTA.



REVISIONES	DESCRIPCION	FECHA	POP.	VS. BI.	NUM.	DIBUJOS DE REFERENCIA
A	PARA COMENTARIOS	MAYO 2004	LPEL	RMS		

UNAM
IQ
ZARAGOZA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
INGENIERIA QUIMICA

PROY.	LPEL
VER.	LPEL
REVISO.	RMS
COORD.	RMS
ESC.	SE
ACOT.	RM

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
PLANTA POTABILIZADORA
TRABAJADORES DEL HIERRO
TRATAMIENTO DE AGUA RECUPERADA
A-1204

REV.
A

5.5 LISTA DE EQUIPO



Proyecto: PLANTA POTABILIZADORA TRABAJADORES DEL HIERRO
 Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Fecha: MAYO-2004
 H= ALTO
 D= DIAMETRO
 Q= CAUDAL TOTAL

No.	No. Equipo	Nombre del equipo	Cantidad	Q (l/s)	V (m ³)	L (m)	A (m)	H (m)	D (m)	MATERIAL	DTI No.	Observaciones
1	ME-1100	MEZCLADOR ESTÁTICO	1	66	2				8"	Con elementos contrados de polipropileno, en carcasa de Acero al Carbón		
2	TC-1100	TANQUE DE CONTACTO PARA OXIDACIÓN	1	66	48	6	4	2		Concreto, con recubrimiento interno		Recubrimiento adecuado para manejo de óxidos
3	CB-1101	TANQUE DE BOMBEO A FILTRACIÓN	1	66	23	4	2.5	2.3		Concreto, con recubrimiento interno		Recubrimiento adecuado para manejo de óxidos
4	FA-1101/102/103/1104	FILTROS	4	16.5	9.4			3	2	Acero al carbón		
5	FA-1201/1202	TORRES DE ADSORCIÓN	2	33	20.7			6.6	2	Acero al carbón con recubrimiento de resina epoxica		
6	TC-1102	TANQUE DE CONTACTO PARA DESINFECCIÓN	1	66	48	6	4	2		Concreto, con recubrimiento interno		Recubrimiento adecuado para manejo de óxidos
7	CB-1102	TANQUE DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCIÓN	1	66	43	4	2.5	4.3		Concreto		
8	FB-1101	TANQUE DE ALMECENAMIENTO DE AGUAS RECUPERADAS	1	55	42	4	3.5	3				
9	FA-1105	FILTRO	1		1.4823			1.9	1	Acero al carbón		
10	FB-1101	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO	1			1.5	1.5	1.5		Concreto, con recubrimiento interno		Recubierta con azulejo POTENCIA: 54 HP
11	GA-1101A/B	BOMBAS A FILTRACIÓN										POTENCIA: 35.7 HP
12	GA-1102A/B	BOMBAS A RED DE DISTRIBUCIÓN										POTENCIA: 1.28 HP
13	GA-1103A/B	BOMBAS A FILTRO DE AGUAS RECUPERADAS										

5.6 INDICE DE SERVICIOS

5.7 HOJAS DE DATOS

HD-001	Hoja de datos Mezclador
HD-002-1	Hoja de Datos Filtros de arena
HD-002-2	Hoja de Datos Filtros de arena (aguas recuperadas)
HD-003	Hoja de Datos Filtros de Carbón
HD-004-1	Hoja de Datos Bombas a Filtración -Adsorción
HD-004-2	Hoja de Datos Bombas a Red de distribución
HD-004-3	Hoja de Datos Bombas de Aguas Recuperadas



HOJA DE DATOS PARA MEZCLADOR ESTATICO

HD-001

AREA _____ PROCESO _____

REV _____ (A)

1	POR	REVISO	APROBO	HOJA	1	DE	1
2	CLIENTE	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	CLAVE	ME-1100	No. REQ.	1	
3	LUGAR	AZCAPOTZALCO, D.F.	UNIDAD				
4	SERVICIO	POTABILIZACION DE AGUA	FABR.				
5							

REV	A	0	1	2
POR	LPEE			
REV	RMS			
APR	RMS			
FECHA	MAYO 04			

6	DATOS DE DISEÑO				CONSTRUCCION						
7											
8	TIPO DE OPERACION	CONTINUA			NUMERO DE UNIDADES	1					
9	FLUJO DISEÑO POR EL SISTEMA	(m ³ /h)	216		DIAMETRO	(m)	0.20	LONGITUD (T-T)	(m)	8	
10	FLUJO MAX. POR EL SISTEMA	(m ³ /h)	238		CODIGO			PRES. DISEÑO	(kg/cm ²)	10	
11	FLUJO POR UNIDAD	(m ³ /h)	NORMAL	216	MAX.	238					
12					CABEZAS:						
13	MAXIMA PERDIDA DE CARGA	(kg/cm ²)	0.40		TIPO	TORIESFERICAS	MATERIAL	ACERO AL CARBON			
14					ESPESOR	(mm)		EFICIENCIA			
15	PRESION MAX. PERM. DE TRABAJO	(kg/cm ²)	10	@ (°C)	28						
16	CORROSION CAUSADA POR				NaClO						
17											
18	GRADIENTE DE VELOCIDAD	(seg ⁻¹)	415								
19											
20	TIEMPO DE CONTACTO	(seg)	0.95								
21											
22											

23	BOQUILLAS									
24										
25	CONEXIONES				DIAMETRO			CLASE ANSI		
26	SUCCION				8"			150#		
27	DESCARGA				8"			150#		
28	DREN				2"			150#		
29										

30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										

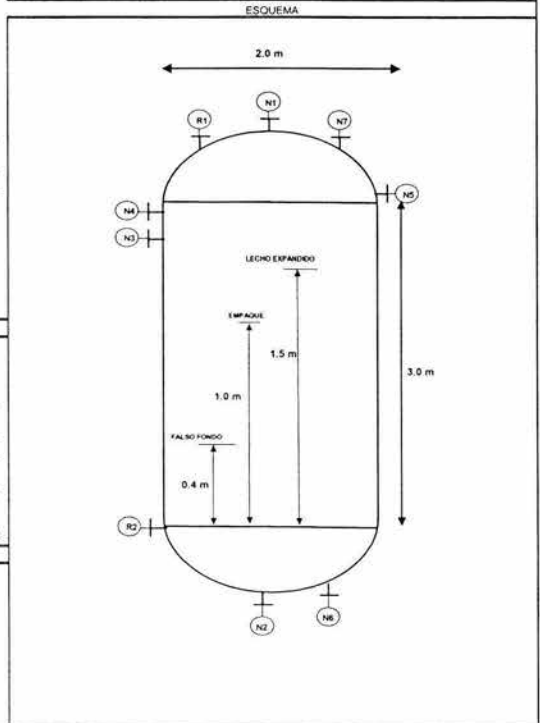
POR	REVISO	APROBO	HOJA
1	CLIENTE UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	CLAVE FA-1201/1202 No. REQ. 4	1 DE 1
2	LUGAR AZCAPOTZALCO, D.F.	UNIDAD	A 0 1 2
3	SERVICIO POTABILIZACION DE AGUA	FABR.	RMS
4			RMS
5			APR
6			FECHA MAYO 04

DATOS DE DISEÑO			
TIPO DE OPERACIÓN	CONTINUA		
FLUJO DISEÑO POR EL SISTEMA (m ³ /h)	216		
FLUJO MAX. POR EL SISTEMA (m ³ /h)	238		
FLUJO POR UNIDAD (m ³ /h)	NORMAL 5.4	MAX. 60	
FLUJO POR AREA (m ³ /h/m ²)	NORMAL 17.18	MAX. 18.9	
MAXIMA PERDIDA DE CARGA (kg/cm ²)	4		
ANTRACITA			
ALTURA DE LECHO	0.40 m		
TAMAÑO EFECTIVO	0.94 mm		
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	1.74		
ESFERICIDAD	0.53		
POROCIDAD	0.40		
FACTOR DE FORMA	1.70		
ARENA SILICA			
ALTURA DE LECHO	0.20 m		
TAMAÑO EFECTIVO	0.65 mm		
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	1.65		
ESFERICIDAD	0.75		
POROCIDAD	0.0445		
FACTOR DE FORMA	1.70		
SOPORTE DEL LECHO	CAMA DE GRAVILLA		
ALTURA SOPORTE (m)	0.40		
RETROLAVADO (m ³ /h/m ²)	69	FLUJO (m ³ /h)	216
FRECUENCIA RETROLAV.	1 POR 48 HR	DURACION (h)	.16
FRECUENCIA DE REEMPLAZO			
TIEMPO FUERA P/REEMPLAZO (h)	24		
CAIDAS DE PRESION EN DISTRIBUIDORES CON FLUJO DE:	66 l/seg		
(mca)			
SERVICIO	0.178		
RETROLAVADO	0.178		
ENJUAGUE	0.0635		

CONSTRUCCION			
NUMERO DE FILTROS	4		
DIAMETRO (m)	2	ALTURA (T-T) (m)	3
CODIGO	PRES. DISEÑO	(kg/cm ²)	5
CABEZAS:			
TIPO	TORIESFERICAS	MATERIAL	ACERO AL CARBON
ESPESOR (mm)		EFICIENCIA	
ENVOLVENTE:			
MATERIAL	ACERO AL CARBON	EFICIENCIA	
ESPESOR (mm)			
RECUBRIMIENTO INT.		ESPESOR (mm)	
TIPO DE DISTRIBUIDORES:	MATERIAL POLIMERO	DESCRIPCION	HIROESFERAS

INSTRUMENTACION			
TRANSMISOR DE PRESION			
CANTIDAD	1 UNID.		
LOCALIZACION	PARTE SUPERIOR DEL TANQUE		
MANOMETRO:			
CANTIDAD	1 UNID	RANGO	0-14 kg/cm ²
FAB.	MODELO BURDON	CARAT.	
VALVULAS DE BLOQUEO:			
DIAMETRO (pulg)	6	MATERIAL	ACERO AL CARBON
INDICADOR DE PRESION DIF	<input checked="" type="checkbox"/> LOCAL	<input type="checkbox"/> TABLERO	
CANTIDAD	UNIDAD	MODELO	
RANGÓ AJUSTAB.	0-14 kg/cm ²	LOCALIZ.	CABEZAL EFLENTE

BOQUILLAS		
TAG	φ	SERVICIO
N1	6"	ENTRADA DE AGUA
N2	6"	SALIDA DE AGUA
N3	6"	SALIDA DE AGUA DE RETROLAVADO
N4	2"	TRANSMISOR DE PRESION
N5	2"	INDICADOR DE PRESION
N6	2"	DREN
R1/R2	24"	REGISTRO HOMBRE
N7	3"	VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE



HOJA DE DATOS PARA FILTROS DE ARENA

HD-002-2

AREA _____ PROCESO _____
 REV _____ (A) _____

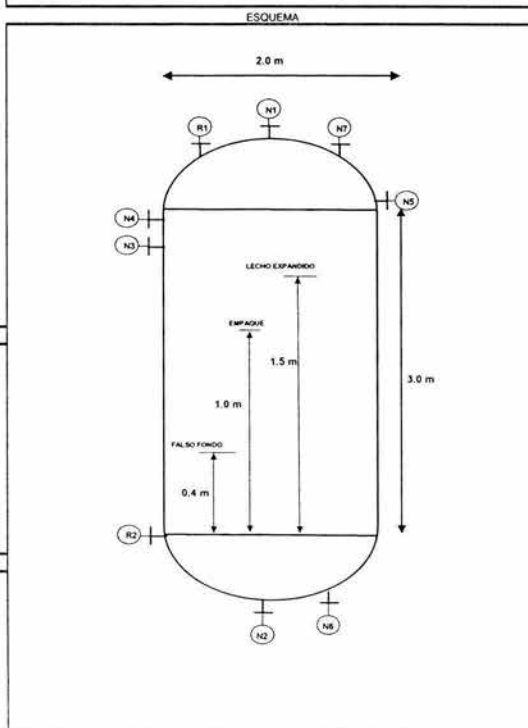
1	CLIENTE	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	CLAVE	FA-1201/1202	No. REQ.	1	HOJA	1	DE	1	
2	LUGAR	AZCAPOTZALCO, D.F.	UNIDAD				REV	A	0	1	2
3	SERVICIO	AGUAS RECUPERADAS	FABR.				POR	LPEE			
4							REV	RMS			
5							APR	RMS			
6							FECHA	MAYO-04			

DATOS DE DISEÑO	
8	TIPO DE OPERACIÓN CONTINUA
9	FLUJO DISEÑO POR EL SISTEMA (m ³ /h) 216
10	FLUJO MAX. POR EL SISTEMA (m ³ /h) 238
11	FLUJO POR UNIDAD (m ³ /h) NORMAL 5.4 MAX. 60
12	FLUJO POR AREA (m ³ /h/m ²) NORMAL 17.18 MAX. 18.9
14	MAXIMA PERDIDA DE CARGA (kg/cm ²) 4
16	ANTRACITA
17	ALTURA DE LECHO 0.50 m
18	TAMAÑO EFECTIVO 0.94 mm
19	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD 1.74
20	ESFERICIDAD 0.53
21	POROSIDAD 0.40
22	FACTOR DE FORMA 1.70
23	ARENA SILICA
24	ALTURA DE LECHO
25	TAMAÑO EFECTIVO
26	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
27	ESFERICIDAD
28	POROSIDAD
29	FACTOR DE FORMA
30	SOPORTE DEL LECHO CAMA DE GRAVILLA
31	ALTURA SOPORTE (m) 0.40
32	RETROLAVADO (l/seg m ²) 17.96 FLUJO (l/seg) 13.8
33	FRECUENCIA RETROLAV. 1 POR 48 HR DURACION (h) .16
34	FRECUENCIA DE REEMPLAZO
35	TIEMPO FUERA P/REEMPLAZO (h) 24
36	CAIDAS DE PRESION EN DISTRIBUIDORES CON FLUJO DE: 66 l/seg
37	(mca)
38	SERVICIO 0.178
39	RETROLAVADO 0.178
40	ENJUAGUE 0.0635

CONSTRUCCION			
NUMERO DE FILTROS	1		
DIAMETRO (m)	1	ALTURA (T-T) (m)	1.5
CODIGO		PRES. DISEÑO (kg/cm ²)	5
CABEZAS:			
TIPO	TORIESFERICAS	MATERIAL	ACERO AL CARBON
ESPESOR (mm)		EFICIENCIA	
ENVOLVENTE:			
MATERIAL	ACERO AL CARBON	EFICIENCIA	
ESPESOR (mm)			
RECUBRIMIENTO INT.		ESPESOR (mm)	
TIPO DE DISTRIBUIDORES:			
	POLIMERO	DESCRIPCION	HIROESFERAS

INSTRUMENTACION	
42	TRANSMISOR DE PRESION
43	CANTIDAD 1 UNID.
44	LOCALIZACION PARTE SUPERIOR DEL TANQUE
45	MANOMETRO:
46	CANTIDAD 1 UNID. RANGO 0-14 kg/cm ²
47	FAB. MODELO BURDON CARAT.
48	VALVULAS DE BLOQUEO:
49	DIAMETRO (pulg) 4 MATERIAL ACERO AL CARBON
50	INDICADOR DE PRESION DIF <input checked="" type="checkbox"/> LOCAL <input type="checkbox"/> TABLERO
51	CANTIDAD UNIDAD MODELO
52	RANGO AJUSTAB. 0-14 kg/cm ² LOCALIZ. CABEZAL EFLUENTE

BOQUILLAS		
55	TAG	Φ SERVICIO
56	N1	4" ENTRADA DE AGUA
57	N2	4" SALIDA DE AGUA
58	N3	4" SALIDA DE AGUA DE RETROLAVADO
59	N4	4" TRANSMISOR DE PRESION
60	N5	4" INDICADOR DE PRESION
61	N6	4" DREN
62	R1/R2	6" REGISTRO HOMBRE
63	N7	2" VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE



HOJA DE DATOS PARA FILTROS DE CARBON ACTIVADO

HD-003

AREA _____ PROCESO _____
 REV _____ (A)

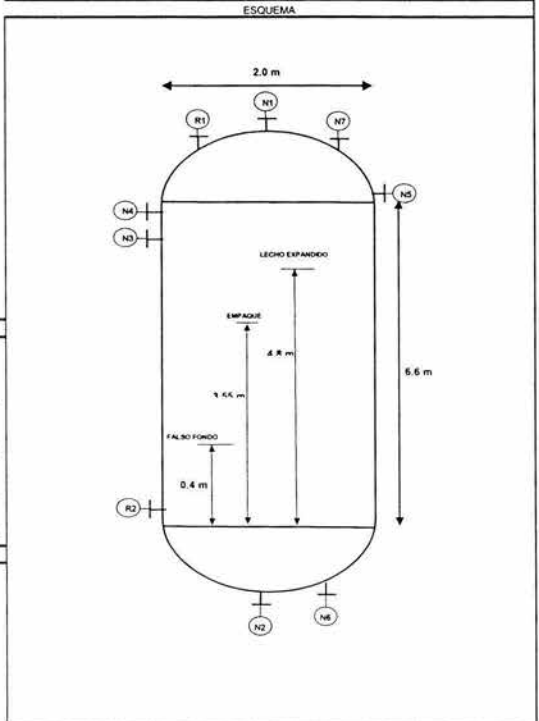
1	CLIENTE	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	CLAVE	FA-1201/1202	No. REQ.	2	HOJA	1	DE	1	
2	LUGAR	AZCAPOTZALCO, D.F.	UNIDAD				REV	A	0	1	2
3	SERVICIO	POTABILIZACION DE AGUA	FABR.				POR	LPEE			
4							REV	RMS			
5							APR	RMS			
6							FECHA	MAYO-04			

DATOS DE DISEÑO					
8	TIPO DE OPERACION	CONTINUA			
9	FLUJO DISEÑO POR EL SISTEMA	(m³/h)	216		
10	FLUJO MAX. POR EL SISTEMA	(m³/h)	238		
11	FLUJO POR UNIDAD	(m³/h)	NORMAL	108	MAX. 119
12	FLUJO POR AREA	(m³/h/m²)	NORMAL	6	MAX. 6
13	TIEMPO DE CONTACTO CAMA VACIA	(min)	5		
22	CARBON ACTIVADO	FAB.		TIPO	
24	VOLUMEN POR UNIDAD	(m³)	9.9	TOTAL	(m³) 19.8
25	ALTURA DE LECHO	(m)	3.2	ESP. LIBRE	(m) 1.20
26	TAMAÑO PARTICULA	(µm)	FAB	COEF. UNIF.	FAB
27	AREA SUPERFICIE	(m²)	FAB	No. DE ABRASION	FAB
28	DENSIDAD EN MASA	FAB		HUMEDAD	FAB
29	CONTENIDO DE FINOS (%)	0.05		A MALLAS	30X40
30	SOPORTE DEL LECHO			CAMA DE GRAVILLA	
31	ALTURA SOPORTE	(m)	0.40		
32	RETROLAVADO	(m³/h/m²)	69	FLUJO	(m³/h) 216
33	FRECUENCIA RETROLAV.	1 POR MES		DURACION	(h) 16
34	FRECUENCIA DE REEMPLAZO	1 VEZ AÑO			
35	TIEMPO FUERA P/REEMPLAZO	(h)	24		
36	CAIDAS DE PRESION EN DISTRIBUIDORES CON FLUJO DE:			66 l/seg	
37		(mca)			
38	SERVICIO		0.178		
39	RETROLAVADO		0.178		
40	ENJUAGUE		0.0635		

CONSTRUCCION			
NUMERO DE FILTROS	2		
DIAMETRO (m)	2	ALTURA (T-T) (m)	6.6
CODIGO		PRES. DISEÑO (kg/cm²)	5
CABEZAS:			
TIPO	TORIESFERICAS	MATERIAL	ACERO AL CARBON
ESPOSOR (mm)		EFICIENCIA	
ENVOLVENTE:			
MATERIAL	ACERO AL CARBON	EFICIENCIA	
ESPOSOR (mm)			
RECUBRIMIENTO INT.		ESPOSOR (mm)	
TIPO DE DISTRIBUIDORES:		MATERIAL	DESCRIPCION
		POLIMERO	HIROESFERAS

INSTRUMENTACION			
42	TRANSMISOR DE PRESION		
43	CANTIDAD	1 UNID.	
44	LOCALIZACION	PARTE SUPERIOR DEL TANQUE	
45	MANOMETRO:		
46	CANTIDAD	1 UNID	RANGO 0-14 kg/cm²
47	FAB.	MODELO BURDON	CARAT.
48	VALVULAS DE BLOQUEO		
49	DIAMETRO (pulg)	6	MATERIAL ACERO AL CARBON
50	INDICADOR DE PRESION DIF.	<input checked="" type="checkbox"/> LOCAL	<input type="checkbox"/> TABLERO
51	CANTIDAD	UNIDAD	MODELO
52	RANGO AJUSTAB.	0-14 kg/cm²	LOCALIZ. CABEZAL EFLUENTE

BOQUILLAS		
55	TAG	φ
56	N1	8"
57	N2	8"
58	N3	8"
59	N4	2"
60	N5	2"
61	N6	2"
62	R1/R2	24"
63	N7	3"





HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

HD-004-1

AREA PROCESO
CLASE
REV (A)

POR	REVISO	APROBO	HOJA 1 DE 1
1	CLIENTE UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXIC	CLAVE GA-1101A/B	No. REQ. _____
2	LUGAR AZCAPOTZALCO D.F.	UNIDAD _____	
3	SERVICIO BOMBEO A FILTRACION-ADSORCION	FABR. _____	
4	UNIDAD MOTRIZ: MOTOR ELECTRICO		
5			
6	CONDICIONES DE OPERACION	FUNCIONAMIENTO	
7	LIQUIDO _____	FLUJO (Vseg) NORM. 60 DIS. 66	CURVA PROPUESTA No. _____
8		PRESION (kg/cm ²) _____	NPSH REQ. (m AGUA) _____
9	TEMP. BOMB. (°C) NORM. 25 MAX. 30	DESC. NORM. 5 DIS. 6	No. DE PASOS _____ VEL. (rpm) _____
10	DENSIDAD 998 kg/m³	SUCC. NORM. ATM DIS. ATM 2	EFICIENCIA (%): NORM. _____ DIS. _____ (BHp)
11	PRESION VAPOR @ T.B. (psia) _____	PRESION DIF. (psi) _____ DIS. _____	POT. MAX. @ IMPULSOR DIS. (Hp) _____
12	VISCOSIDAD @ T.B. (cP) 0.0099 kg/m s	COLUMNA DIFERENCIAL (ft) _____	CARGA MAX. @ IMPULSOR DIS. (ft) _____
13	CORR./EROS. CAUSADA POR: NaClO	NPSH DISP. (ft) _____	FLUJO MIN. CONTINUO (gpm) _____
14	pH 7.7	POTENCIA HIDR. (Hp) 54	ROTACION VISTA DESDE COPLER
15			VELOCIDAD ESPECIFICA DE SUCCION _____
16	CONSTRUCCION Y MATERIALES	MOTOR POR:	
17	CARCASA: MONTAJE <input type="checkbox"/> HORIZONTAL <input type="checkbox"/> LINEA DE CENTROS <input type="checkbox"/> PIE	CLAVE: _____	MONTADO POR: _____
18	<input type="checkbox"/> VERTICAL <input type="checkbox"/> VERT. EN LINEA	POTENCIA (Hp) _____	VELOCIDAD (rpm) _____
19	PARTICION: <input type="checkbox"/> AXIAL <input type="checkbox"/> RADIAL	FABR. _____	ARMAZON _____
20	TIPO DE VOLUTA: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/> CON DIFUSOR	TIPO _____	AISLAMIENTO _____
21	PRESION MAX. PERM. DE TRABAJO (psig) _____ @ (°F) _____	ENCAPSULADO _____	AUMEN. TEMP (°F) _____
22	CONEXIONES DIAMETRO CLASE ANSI CARA POSICION	VOLTS/FASES/CICLOS _____	LUBR. _____
23	SUCCION 8" 150# CR	RODAMIENTOS _____	AMPERES A PLENA CARGA _____
24	DESCARGA 8" 150# CR		FACT. SERV. _____
25	DREN _____	TURBINA POR:	
26	VENTEO _____	CLAVE: _____	MONTADO POR: _____
27	IMPULSOR: DIAMETRO (in) DISEÑO MAX. CANT.	POTENCIA (Hp) _____	VELOCIDAD (rpm) _____
28	TIPO: <input type="checkbox"/> ABIERTO <input type="checkbox"/> CERRADO <input type="checkbox"/> OTRO	MATERIAL _____	
29	SUCCION: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE	FABR. _____	TIPO _____
30	MONTAJE: <input type="checkbox"/> ENTRE RODAMIENTOS <input type="checkbox"/> VOLADIZO	VAPOR ENTRADA (psig) _____ @ (°F) _____	
31	RODAMIENTOS: No. DE IDENTIF. FABR. _____	VAPOR ESCAPE (psig) _____	AGUA REQ. (gpm) _____
32	TIPO: RADIAL _____ AXIAL _____	CONSUMO DE VAPOR (lb/Hp/h) _____	
33	LUBRICACION: <input type="checkbox"/> GRASA <input type="checkbox"/> INUNDADA <input type="checkbox"/> ANILLO DE ACEITE	RODAMIENTOS _____	LUBR. _____
34	<input type="checkbox"/> PRESURIZADA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURGADA	CONEXIONES DIAMETRO CLASE ANSI CARA POSICION	
35	COPLER: FABR./MODELO/TAMAÑO _____	ENTRADA _____	
36	<input type="checkbox"/> MITAD COPLER MONTADO POR _____	ESCAPE _____	
37	GUARDA: TIPO _____	PRUEBAS EN TALLER	
38	<input type="checkbox"/> BOMBAS VERT.: EMPUJE FLECHA <input type="checkbox"/> HACIA ARRIBA <input type="checkbox"/> HACIA ABAJO	PRUEBA: _____ REQUERIDA _____ ATESTIGUADA _____	
39	SISTEMA DE SELLADO	FUNCIONAMIENTO _____	
40	<input type="checkbox"/> EMPAQUE: FABR./TIPO _____ TAMAÑO _____	HIDROSTATICA _____	
41	No. ANILLOS _____	NPSH _____	
42	<input type="checkbox"/> SELLO MECANICO: FABR. _____ CODIGO API _____	DESMONTAJE E INSPECCION DESPUES DE LA PRUEBA: _____	
43	CODIGO FABR. _____ TIPO _____	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
44	TUBERIA AUXILIAR POR: _____	OTRA _____	
45	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO PRIMARIO	PRUEBA HIDROSTATICA (psig) _____ @ (°F) _____	
46	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING	DATOS FINALES DEL FABRICANTE	
47	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO SECUNDARIO	DIAM. ACTUAL DE IMP. (in) _____	
48	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING	CURVA DE PRUEBA No. _____	
49	FLUIDO DE LIMPIEZA EXT. _____ @ (psig) _____ (°F) _____	DIB. DIMENSIONAL No. _____	
50	<input type="checkbox"/> PLAN API AGUA DE ENFRIAMIENTO	DIB. SECC. BOMBA No. _____	
51	<input type="checkbox"/> BALEROS <input type="checkbox"/> ESTOPERO <input type="checkbox"/> PEDESTAL <input type="checkbox"/> PRENSA ESTOPAS	DIB. SECC. SELLO No. _____	
52	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> COBRE <input type="checkbox"/> GALV. <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING	No. SERIE BOMBA _____	
53	FLUJO (gpm) _____	CLARO ENTRE ANILLOS _____	
54	MATERIALES	EMBARCAR: <input type="checkbox"/> SELLOS MECANICOS <input type="checkbox"/> EMPAQUE	
55	CLAVE DE MATLS. CARCASA PARTES INTERNAS	<input type="checkbox"/> INSTALADOS <input type="checkbox"/> SEPARADOS	
56	I. FIERRO FUNDIDO PARTES INTERNAS	PESOS (lb) BOMBA _____ BASE _____	
57	B. BRONCE IMPULSOR	MOTOR _____ TURBINA _____	
58	S. ACERO PARTES INT. CUERPO	TOTAL _____ EMBARQUE _____	
59	C. 11-13% CROMO MANGA (EMPAQUE)	OBSERVACIONES	
60	A. ALEACION 20 MANGA (SELLO)		
61	H. ENDURECIDO PART. DE DESGASTE		
62	F. RECUBIERTO FLECHA		
63	X. _____		



HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

HD-004-2

AREA _____ PROCESO _____
 CLASE _____
 REV _____ (A) _____

POR	REVISO	APROBO	HOJA 1 DE 1
1	CLIENTE UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXIC	CLAVE GA-1102A/B	No. REQ. _____
2	LUGAR AZCAPOTZALCO D.F.	UNIDAD _____	REV A 0 1 2
3	SERVICIO BOMBEO A RED DE DISTRIBUCION	FABR. _____	LPEE _____
4	UNIDAD MOTRIZ: MOTOR ELECTRICO		RMS _____
5			RMS _____
6			APR _____
7			FECHA MAYO-04 _____

CONDICIONES DE OPERACION				FUNCIONAMIENTO			
8	LIQUIDO _____	FLUJO (l/seg) NORM. 60 DIS. 66		CURVA PROPUESTA No. _____			
9	TEMP. BOMB. (°C) NORM. 25 MAX. 30	DESC.: NORM. 3 DIS. 3.5		NPSH REQ. (m AGUA) _____			
10	DENSIDAD 998 kg/m ³	SUCC.: NORM. ATM DIS. ATM 2		No. DE PASOS _____	VEL. (rpm) _____		
11	PRESION VAPOR @ T.B. (psia) _____	PRESION DIF. (psi) _____		EFICIENCIA (%) NORM _____	DIS. _____	(BHp) _____	
12	VISCOSIDAD @ T.B. (cP) 0.0009 kg/m s	COLUMNA DIFERENCIAL (ft) _____		POT. MAX. @ IMPULSOR DIS. (Hp) _____			
13	CORR./EROS. CAUSADA POR: NaClO	NPSH DISP. (ft) _____		CARGA MAX. @ IMPULSOR DIS. (ft) _____			
14	pH 7.7	POTENCIA HDR. (Hp) 54		FLUJO MIN. CONTINUO (gpm) _____			
15				ROTACION VISTA DESDE COUPLE _____			
16				VELOCIDAD ESPECIFICA DE SUCCION _____			

CONSTRUCCION Y MATERIALES				MOTOR POR:			
17	CARCASA: MONTAJE	<input type="checkbox"/> HORIZONTAL <input type="checkbox"/> LINEA DE CENTROS <input type="checkbox"/> PIE		CLAVE: _____	MONTADO POR: _____		
18		<input type="checkbox"/> VERTICAL <input type="checkbox"/> VERT. EN LINEA		POTENCIA (Hp) _____	VELOCIDAD (rpm) _____		
19	PARTICION: <input type="checkbox"/> AXIAL <input type="checkbox"/> RADIAL			FABR. _____	ARMAZON _____		
20	TIPO DE VOLUTA: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/> CON DIFUSOR			TIPO _____	AISLAMIENTO _____		
21	PRESION MAX. PERM. DE TRABAJO (psig) _____	@ (°F) _____		ENCAPSULADO _____	AUMEN. TEMP (°F) _____		
22	CONEXIONES	DIAMETRO	CLASE ANSI	CARA	POSICION		
23	SUCCION	8"	150#	CR			
24	DESCARGA	8"	150#	CR			
25	DREN						
26	VENTEO						

27	IMPULSOR: DIAMETRO (in) _____	DISENO _____	MAX. _____	CANT. _____
28	TIPO: <input type="checkbox"/> ABIERTO <input type="checkbox"/> CERRADO <input type="checkbox"/> OTRO _____			
29	SUCCION: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE			
30	MONTAJE: <input type="checkbox"/> ENTRE RODAMIENTOS <input type="checkbox"/> VOLADIZO			
31	RODAMIENTOS: No. DE IDENTIF. FABR. _____			
32	TIPO: RADIAL _____	AXIAL _____		
33	LUBRICACION: <input type="checkbox"/> GRASA <input type="checkbox"/> INUNDADA <input type="checkbox"/> ANILLO DE ACEITE			
34	<input type="checkbox"/> PRESURIZADA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURGADA			
35	COUPLE: FABR./MODELO/TAMAÑO _____			
36	<input type="checkbox"/> MITAD COUPLE MONTADO POR _____			
37	GUARDA: TIPO _____			
38	<input type="checkbox"/> BOMBAS VERT.: EMPUJE FLECHA <input type="checkbox"/> HACIA ARRIBA <input type="checkbox"/> HACIA ABAJO			

39	SISTEMA DE SELLADO			
40	<input type="checkbox"/> EMPAQUE: FABR./TIPO _____	TAMAÑO _____		
41	No. ANILLOS _____			
42	<input type="checkbox"/> SELLO MECANICO: FABR. _____	CODIGO API _____		
43	CODIGO FABR. _____	TIPO _____		
44	TUBERIA AUXILIAR POR: _____	ROSCADA _____	BRIDADA _____	
45	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO PRIMARIO			
46	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING			
47	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO SECUNDARIO			
48	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING			
49	FLUIDO DE LIMPIEZA EXT. _____	@ (psig) _____	(°F) _____	
50	<input type="checkbox"/> PLAN API AGUA DE ENFRIAMIENTO			
51	<input type="checkbox"/> BALEROS <input type="checkbox"/> ESTOPERO <input type="checkbox"/> PEDESTAL <input type="checkbox"/> PRENSA ESTOPAS			
52	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> COBRE <input type="checkbox"/> GALV. <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING			
53	FLUJO (gpm) _____			

54	MATERIALES			
55	CLAVE DE MATLS. CARCASA _____	PARTES INTERNAS _____		
56	I. FIERRO FUNDIDO	PARTES INTERNAS	I	B
57	B. BRONCE	IMPULSOR	S	C
58	S. ACERO	PARTES INT. CUERPO	X	
59	C. 11-13% CROMO	MANGA (EMPAQUE)		
60	A. ALEACION 20	MANGA (SELLO)		
61	H. ENDURECIDO	PART. DE DESGASTE		
62	F. RECUBIERTO	FLECHA		
63	X. _____			

54	MATERIALES			
55	CLAVE DE MATLS. CARCASA _____	PARTES INTERNAS _____		
56	I. FIERRO FUNDIDO	PARTES INTERNAS	I	B
57	B. BRONCE	IMPULSOR	S	C
58	S. ACERO	PARTES INT. CUERPO	X	
59	C. 11-13% CROMO	MANGA (EMPAQUE)		
60	A. ALEACION 20	MANGA (SELLO)		
61	H. ENDURECIDO	PART. DE DESGASTE		
62	F. RECUBIERTO	FLECHA		
63	X. _____			

27	CLAVE: _____	MONTADA POR: _____			
28	POTENCIA (Hp) _____	VELOCIDAD (rpm) _____			
29	MATERIAL _____				
30	FABR. _____	TIPO _____			
31	VAPOR ENTRADA (psig) _____	@ (°F) _____			
32	VAPOR ESCAPE (psig) _____	AGUA REQ. (gpm) _____			
33	CONSUMO DE VAPOR (lb/Hph) _____				
34	RODAMIENTOS _____	LUBR. _____			
35	CONEXIONES	DIAMETRO	CLASE ANSI	CARA	POSICION
36	ENTRADA				
37	ESCAPE				
38	PRUEBAS EN TALLER				
39	PRUEBA: _____	REQUERIDA	ATESTIGUADA		
40	FUNCIONAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
41	HIDROSTATICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
42	NPSH	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
43	DESMTAJE E INSPECCION DESPUES DE LA PRUEBA:	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO		
44	OTRA _____				
45	PRUEBA HIDROSTATICA (psig) _____	@ (°F) _____			
46	DATOS FINALES DEL FABRICANTE				
47	DIAM. ACTUAL DE IMP. (in) _____				
48	CURVA DE PRUEBA No. _____				
49	DIB. DIMENSIONAL No. _____				
50	DIB. SECC. BOMBA No. _____				
51	DIB. SECC. SELLO No. _____				
52	No. SERIE BOMBA _____				
53	CLARO ENTRE ANILLOS _____				
54	EMBARCAR: <input type="checkbox"/> SELLOS MECANICOS <input type="checkbox"/> EMPAQUE				
55	<input type="checkbox"/> INSTALADOS <input type="checkbox"/> SEPARADOS				
56	PESOS (lb): BOMBA _____	BASE _____			
57	MOTOR _____	TURBINA _____			
58	TOTAL _____	EMBARQUE _____			
59	OBSERVACIONES				
60	_____				
61	_____				
62	_____				
63	_____				



HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

HD-004-3

AREA SERVICIOS AUXILIARES
 CLASE _____
 REV _____ (A) _____

POR	REVISO	APROBO	HOJA 1 DE 1	
1	CLIENTE <u>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</u>	CLAVE <u>GA-1103A/B</u>	No. REQ. _____	
2	LUGAR <u>AZCAPOTZALCO D.F.</u>	UNIDAD _____	REV <u>A</u> 0 1 2	
3	SERVICIO <u>BOMBEO ADE AGUAS RECUPERADAS</u>	FABR. _____	POR _____	
4	UNIDAD MOTRIZ: <u>MOTOR ELECTRICO</u>		REV _____	
5			APR _____	
6			FECHA <u>MAVO-04</u>	
7	CONDICIONES DE OPERACION		FUNCIONAMIENTO	
8	LIQUIDO _____	FLUJO (Vseg) NORM. <u>60</u> DIS. <u>66</u>	CURVA PROPUESTA No. _____	
9	TEMP. BOMB. (°C) NORM. <u>25</u> MAX. <u>30</u>	PRESION: (kg/cm ²) _____	NPSH REQ. (m AGUA) _____	
10	DENSIDAD _____	DESC. NORM. <u>0.4</u> DIS. <u>0.5</u>	No. DE PASOS _____ VEL. (rpm) _____	
11	PRESION VAPOR @ T.B. (psia) _____	SUCC. NORM. <u>ATM</u> DIS. _____	EFICIENCIA (%): NORM _____ DIS. _____ (BHp)	
12	VISCOSIDAD @ T.B. (cP) <u>0.0009 kg/m s</u>	COLUMNA DIF. (psi) _____	POT. MAX. @ IMPULSOR DIS. (Hp) _____	
13	CORR./EROS. CAUSADA POR: <u>NaClO</u>	NPSH DISP. (ft) _____	CARGA MAX. @ IMPULSOR DIS. (ft) _____	
14	pH <u>7.7</u>	POTENCIA HIDR. (Hp) <u>1.5</u>	FLUJO MIN. CONTINUO (gpm) _____	
15			ROTACION VISTA DESDE COPL E _____	
16	CONSTRUCCION Y MATERIALES		MOTOR POR: _____	
17	CARCASA: MONTAJE _____	HORIZONTAL <input type="checkbox"/> LINEA DE CENTROS <input type="checkbox"/> PIE <input type="checkbox"/>	CLAVE: _____ MONTADO POR: _____	
18		VERTICAL <input type="checkbox"/> VERT. EN LINEA <input type="checkbox"/>	POTENCIA (Hp) _____ VELOCIDAD (rpm) _____	
19	PARTICION: _____	AXIAL <input type="checkbox"/> RADIAL <input type="checkbox"/>	FABR. _____ ARMAZON _____	
20	TIPO DE VOLUTA: _____	SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/> CON DIFUSOR <input type="checkbox"/>	TIPO _____ AISLAMIENTO _____	
21	PRESION MAX. PERM. DE TRABAJO (psig) _____	@ (°F) _____	ENCAPSULADO _____ AUMEN. TEMP (°F) _____	
22	CONEXIONES _____	DIAMETRO _____ CLASE ANSI _____ CARA _____ POSICION _____	VOLTS/FASES/CICLOS _____ / _____ / _____	
23	SUCCION _____	<u>2"</u> <u>150#</u> CR	RODAMIENTOS _____ LUBR. _____	
24	DESCARGA _____	<u>2"</u> <u>150#</u> CR	AMPERES A PLENA CARGA _____ FACT. SERV. _____	
25	DREN _____			
26	VENTEO _____		TURBINA POR: _____	
27	IMPULSOR: DIAMETRO (in) _____	DISENO _____ MAX. _____ CANT. _____	CLAVE: _____ MONTADA POR: _____	
28	TIPO: <input type="checkbox"/> ABIERTO <input type="checkbox"/> CERRADO <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/>		POTENCIA (Hp) _____ VELOCIDAD (rpm) _____	
29	SUCCION: <input type="checkbox"/> SENCILLA <input type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/>		MATERIAL _____	
30	MONTAJE: <input type="checkbox"/> ENTRE RODAMIENTOS <input type="checkbox"/> VOLADIZO <input type="checkbox"/>		FABR. _____ TIPO _____	
31	RODAMIENTOS: No. DE IDENTIF. FABR. _____		VAPOR ENTRADA (psig) _____ @ (°F) _____	
32	TIPO: RADIAL _____	AXIAL _____	VAPOR ESCAPE (psig) _____ AGUA REQ. (gpm) _____	
33	LUBRICACION: <input type="checkbox"/> GRASA <input type="checkbox"/> INUNDADA <input type="checkbox"/> ANILLO DE ACEITE _____	<input type="checkbox"/> PRESURIZADA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURA <input type="checkbox"/> NIEBLA PURGADA _____	CONSUMO DE VAPOR (lb/HpH) _____	
34			RODAMIENTOS _____ LUBR. _____	
35	COPEL: FABR./MODELO/TAMAÑO _____		CONEXIONES _____ DIAMETRO _____ CLASE ANSI _____ CARA _____ POSICION _____	
36	<input type="checkbox"/> MITAD COPEL MONTADO POR _____		ENTRADA _____	
37	GUARDA: TIPO _____		ESCAPE _____	
38	<input type="checkbox"/> BOMBAS VERT.: EMPUJE FLECHA _____ HACIA ARRIBA _____ HACIA ABAJO _____		PRUEBAS EN TALLER	
39	SISTEMA DE SELLADO		PRUEBA: _____ REQUERIDA _____ ATESTIGUADA _____	
40	<input type="checkbox"/> EMPAQUE: FABR./TIPO _____ TAMAÑO _____		FUNCIONAMIENTO _____	
41	No. ANILLOS _____		HIDROSTATICA _____	
42	<input type="checkbox"/> SELLO MECANICO: FABR. _____ CODIGO API _____		NPSH _____	
43	CODIGO FABR. _____ TIPO _____		DESMONTAJE E INSPECCION DESPUES DE LA PRUEBA: _____	
44	TUBERIA AUXILIAR POR: _____	<input type="checkbox"/> ROSCADA <input type="checkbox"/> BRIDADA _____	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
45	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO PRIMARIO		OTRA _____	
46	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING _____		PRUEBA HIDROSTATICA (psig) _____ @ (°F) _____	
47	<input type="checkbox"/> PLAN DE LIMPIEZA DE SELLO SECUNDARIO		DATOS FINALES DEL FABRICANTE	
48	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING _____		DIAM. ACTUAL DE IMP. (in) _____	
49	<input type="checkbox"/> FLUIDO DE LIMPIEZA EXT. _____ @ (psig) _____ (°F) _____		CURVA DE PRUEBA No. _____	
50	<input type="checkbox"/> PLAN API AGUA DE ENFRIAMIENTO		DIB. DIMENSIONAL No. _____	
51	<input type="checkbox"/> BALEROS <input type="checkbox"/> ESTOPERO <input type="checkbox"/> PEDESTAL <input type="checkbox"/> PRENSA ESTOPAS _____		DIB. SECC. BOMBA No. _____	
52	<input type="checkbox"/> A. CARBON <input type="checkbox"/> A. INOX <input type="checkbox"/> COBRE <input type="checkbox"/> GALV. <input type="checkbox"/> TUBERIA <input type="checkbox"/> TUBING _____		DIB. SECC. SELLO No. _____	
53	FLUJO (gpm) _____		No. SERIE BOMBA _____	
54	MATERIALES		CLARO ENTRE ANILLOS _____	
55	CLAVE DE MATLS.: CARCASA _____	PARTES INTERNAS		
56	I- FIERRO FUNDIDO	PARTES INTERNAS	EMBARCAR: <input type="checkbox"/> SELLOS MECANICOS <input type="checkbox"/> EMPAQUE _____	
57	B- BRONCE	IMPULSOR	INSTALADOS _____ SEPARADOS _____	
58	S- ACERO	PARTES INT. CUERPO	PESOS (lb): BOMBA _____ BASE _____	
59	C- 11-13% CROMO	MANGA (EMPAQUE)	MOTOR _____ TURBINA _____	
60	A- ALEACION 20	MANGA (SELLO)	TOTAL _____ EMBARQUE _____	
61	H- ENDURECIDO	PART. DE DESGASTE	OBSERVACIONES	
62	F- RECUBIERTO	FLECHA	_____	
63	X- _____		_____	

Faltan páginas

N° 158-159

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSAI-1994.**
"SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A LOS QUE DEBE SOMETERSE PARA SU POTABILIZACIÓN
- 2.- **MANUAL DE HIDRÁULICA.**
J. M. DE ACEVEDO, GULLERNO ACOSTA A., EDITORIAL HARLA, S.A DE C.V, MÉXICO, 1976
- 3.- **NEW CONCEPTS IN WATER PURIFICATION**
GORDON L. CULP AND RUSSELL L. CULP, VAN NOSTRAND REINHOLD ENVIRONMENTAL ENGINEERING SERIES, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, NEW YORK, 1974
- 4.- **CHEMISTRY FOR ENVIROMENTAL ENGINEERING**
CLAIR N.SAWYER,PERRY L.MCCARTY,GENE F.PARKIN.
MCGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, FOURTH EDITION,1994
- 5.- **ELEMENTS OF WATER SUPPY AND WASTEWATER DISPOSAL**
G.M. FAIR, J.C. GEYER, D.A. OKUN
WILEY INTERNATIONAL EDITION, TOPPAN COMPANY, LTD. TOKYO JAPAN
SECOND EDITION, 1971.
- 6.- **MANUAL TÉCNICO DEL AGUA**
DÉGREMONT, CUARTA EDICIÓN ESPAÑOLA,1979.
- 7.- **THE NALCO WATER HANDBOOK**
FRANK N. KEMMER, EDITOR, NALCO CHEMICALS COMPANY.
MCGRAW-HILL BOOK CO., INTERNATIONAL EDITIONS, CHEMICAL ENGINEERING SERIES,
SECOND EDITION, 1988.
- 8.- **PRINCIPLES OF WATER QUALITY CONTRL**
T.H.Y. TEBBUTT. PERGAMONPRESS, LTD, THIRD EDITION. 1980
- 9.- **NEW CONCEPTS IN WATER PURIFICATION**
GORDON L. CULP AND RUSSELL L. CULP, VAN NOSTRAND REINHOLD ENVIRONMENTAL ENGINEERING SERIES, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, NEW YORK, 1974
- 10.- **WATER AND WASTEWATER CHLORINATION.**
WHITE, G.C., VAN NOSTRAND REINHOLD CO. NEW YORK, 1972
- 11.- **WATER TRATAMENTPLANT DESIGN FOR THE PRACTICING ENGINEER.**
KENNETH J.FICEK,"POTASSIUM PERMANGANATE FOR IRON AND MANGANESE
REMOVAL AND TASTE AND ODOR CONTROL"
EDITED BY ROBERT L.SANKS. ANN ARBOR SCIENCE,THE BUTTERWORD GROUP,FOURTH
PRINTING,1982.
- 12.- **HIDRALICS IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY**
IMRE HORVATH, AKADEMAI KIADO/JOHN WILEY & SONS, BUDAPEST/HUNGARY, 1994.

13.- WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN, A MANUAL OF PRACTICE, MOP/8.
BY A JOINT COMMITTEE OF THE WATE POLLUTION CONTRL FEDERATION AND THE
AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER, 1977, PAG 396-399.

14.- WATER TREATAMENT PRINCIPLES & DESING.
JAMES M.MONTGOMERY,CONSULTING ENGINEERS,INC.WILEY INTERSCIENCE,NEW
YORK,1985.

15.- PREDICTING EXPANSION OF FILTERS DURING BACKWASH
JOURNAL AMIRTHARAJAH, A. AND CLEASBY, JOHN L (1972)

16.- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA, (D.G.C.O.H.)

BIBLIOGRAFÍA

1.- MEZCLADORES ESTÁTICOS PARA EL AGUA Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS.
SULZER/CHEMTEC, BOLETÍN TÉCNICO NO.23.83.06.60-VIII.95-50.

2.- KENICS STATICS MIXER
KENICS CORPORATION, N.ANDOVER, MASSACHUSETTS,1972.

3.-MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA
ROBERT, L., MOTT; EITORIAL PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA