

5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

INGENIERIA BÁSICA DE PROCESO

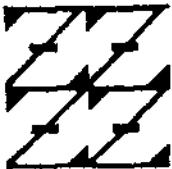
"PLANTA POTABILIZADORA A PIE DE  
POZO TULYEHUALCO 5"

200878

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A :  
MELCHOR CASTRO SANCHEZ

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO HUBIERO IJE  
DE NUESTRA ESPERANZA

ASESOR: I.Q. RENE DE LA MORA MEDINA

DICIEMBRE DEL 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**ALUMNO: CASTRO SANCHEZ MELCHOR  
P R E S E N T E.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/0040/00  
ASUNTO: Asignación de Jurado**

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

**Presidente:  
Vocal:  
Secretario:  
Suplente:  
Suplente:**

**I.Q. René de la Mora Medina  
I.Q. Gonzalo Rafael Coello García  
I.Q. Balbina Patricia García Aguilar  
I.Q. Bernardo Carreón Calderón  
I.Q. Cuauhtémoc Lagos Chávez**

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t a m e n t e  
"POR" de Octubre del 2000.  
EL JEFE DE LA  
I.Q. ARTURO B. MENDEZ GUTIERREZ**

**ZARAGOZA  
SECRETARIA TECNICA**



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/0040/00**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNO: CASTRO SANCHEZ MELCHOR  
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:

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. René de la Mora Medina</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. Gonzalo Rafael Coello García</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Balbina Patricia García Aguilar</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Bernardo Carreón Calderón</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Cuauhtémoc Lagos Chávez</b>

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., 27 de Octubre del 2000.

**EL JEFE DE LA CARRERA**



**I.Q. ARTURO MENENDEZ GUTIERREZ**  
SECRETARIA TECNICA

A MI MADRE:  
CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO  
POR EL GRAN IMPULSO Y MOTIVACIÓN  
QUE ME HA BRINDADO A TRAVÉS DE MI VIDA  
POR SU ABNEGACIÓN Y CARÍO  
POR SU PACIENCIA Y COMPRENSIÓN  
POR QUE ME DIO EL SER.

A MI PADRE (I):  
CON GRAN RESPETO Y ADMIRACIÓN  
POR SU GRAN EJEMPLO DE  
ENTEREZA FORTALEZA Y  
PERSEVERANCIA  
POR SUS GRANDES ESFUERZOS  
POR SUS CONSEJOS.

A MIS HERMANOS:  
ISMAEL  
JAVIER  
ROCIO  
ARACELI  
CON AMOR Y RESPETO  
POR SU APOYO Y MOTIVACIÓN  
POR CREER Y PENSAR EN MI.

A MI ESPOSA:  
CON MUCHO AMOR Y RESPETO  
POR SU APOYO CONSTANTE  
POR SU PACIENCIA Y ATENCIONES  
POR SU IMPULSO Y MOTIVACIÓN.

A MIS AMICOS:  
CON RESPETO Y CARÍO  
POR SU MOTIVACIÓN E  
IMPULSO DE SUPERACIÓN  
POR SU APOYO MORAL  
POR CREER EN MI  
POR SER MIS HERMANOS.

A MI ASESOR:  
I.Q. RENE DE LA MORA MEDINA  
POR SUS ATENCIONES, GRAN  
PACIENCIA Y APOYO PARA EL  
DESARROLLO DE LA PRESENTE.

A MI ESCUELA.  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
POR LAS GRANDES ALEGRÍAS QUE VIVI  
CON MIS COMPAÑEROS  
POR TANTAS SATISFACCIONES QUE ME DIÓ.

## INDICE

**Objetivos**

**Introducción**

**Sumario**

**Justificación**

**Generalidades**

### **Capítulo 1 Bases de diseño**

- 1.1. Información básica del pozo.
- 1.2. Evaluación de calidad del agua.
  - 1.2.1 Normas y criterios de calidad.
  - 1.2.2 Identificación de contaminantes.
  - 1.2.3 Análisis estadísticos.
    - 1.2.3.1 Proyección de calidad al año 2010.
    - 1.2.3.2 Diagnóstico de la calidad.
- 1.3. Alternativas de tratamiento.
  - 1.3.1 Procesos de remoción de manganeso.
    - 1.3.1.1 Proceso de aereación.
    - 1.3.1.2 Proceso de oxidación con ozono.
    - 1.3.1.3 Proceso de remoción con permanganato de potasio.
  - 1.3.2 Otros procesos de remoción.
    - 1.3.2.1 Proceso de remoción por cloración.
    - 1.3.2.2 Química del manganeso.
- 1.4. Antecedentes experimentales.
  - 1.4.1 Resultados experimentales.
- 1.5. Parámetros básicos de diseño.
  - 1.5.1 Principales sistemas y componentes del proceso.

### **Capítulo 2 Memoria de Cálculo de los Procesos y Operaciones Unitarias**

- 2.1 Proceso de Cloración al punto de quiebre.
- 2.2 Filtración en Arena.
- 2.3 Adsorción en Carbón Activado Granular.
- 2.4 Desinfección con NaOCl.

### **Capítulo 3 Memorias de Cálculo de Servicios Auxiliares**

- 3.1 Bomba de extracción del agua del pozo.
- 3.2 Dosificación de hipoclorito de sodio.
- 3.3 Dosificación de desinfectante.
- 3.4 Bomba de distribución a red.

## **Capítulo 4 Logística de Operación de la Planta en Conjunto**

- 4.1 Introducción.
- 4.2 Descripción Básica del Proceso del Tratamiento.
- 4.3 Descripción del Proceso.
- 4.4 Diagrama de flujo de proceso (DFP).
- 4.5 Balance de materiales.

## **Capítulo 5 Requisiciones de Equipo y Materiales**

### **Resumen**

### **Conclusiones**

### **Anexos:**

#### ❖ **Información Complementaria**

- Histórico de calidad.
- Corte Litológico del pozo.
- Gráfica de Demanda de cloro.
- Lista de Equipo y Motores.
- Ficha Técnica.

#### ❖ **Planos funcionales:**

- Plano isométrico.
- Plano de Localización General.
- Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI).

#### ❖ **Datos de selección de equipo**

- Bombas Dosificadoras.
- Mezcladores Estáticos en Línea.

### **Referencias Bibliográficas.**

**Nomenclatura empleada:**

- $A_{Fij}$ : Area de Filtración.
- $A_{Ads.}$ : Area de Adsorción.
- $CHS_{Ads.}$ : \*Carga Hidráulica Superficial de Adsorción.
- $CHS_{Fij}$ : \*Carga Hidráulica Superficial de Filtración.  
\* Velocidad de filtración / Adsorción.
- $CHS_R$ : \*\*Carga Hidráulica Superficial de Retrolavado.  
\*\* Velocidad de Retrolavado.
- $cm$ : Centímetros de agua
- $C_D$ : Coeficiente de arrastre.
- $D_{int.}$ : Diámetro Interno.
- $\phi$ : Factor de Forma de una Partícula.  
Diámetro interno en tuberías.
- $ft/s$ : Pies por segundo.
- $Gal/minft^2$ : Galones por minuto por pie cuadrado.
- $h_{Emp.}$ : Altura de empaque
- $l/s$ : Litros por segundo.
- $lb/ft^3$ : Libras por Pie cúbico.
- $m_{Carbón.}$ : Masa de Carbón.
- $m$ : Metros.
- $m/h$ : Metros por Hora.
- $m/min.$ : Metros por minuto.
- $mm$ : Milímetros.
- $Mgal/día$ : Millones de galones por día.
- $m/s$ : Metros por segundo.
- $mca$ : Metros Columna de Agua.
- $ma$ : Metros de Agua.
- $N_{Filtros.}$ : Número de Unidades de Filtración.
- $N_{Re.}$ : Número de Reynolds.
- $Pulg.$ : Pulgadas.
- $Q_{Máx.}$ : Flujo o Caudal Máximo de Agua del Pozo.
- $Q_T$ : Flujo o Caudal Total de Agua del Pozo.
- $Q_{Fij.}$ : Flujo o Caudal por unidad de Filtración.
- $Q_R$ : Flujo o Caudal de Retrolavado.
- $V_{Carbón.}$ : Volumen de Carbón.



## Introducción

### Potabilización del agua

Contrario a lo que tradicionalmente se ha establecido como agua pura, el agua potable es el agua en condiciones que permiten su consumo por el organismo humano sin poner en peligro su funcionamiento. De hecho el agua potable contiene algunos elementos y compuestos, principalmente sales y minerales disueltas, que al contrario de limitar su uso en fines potables son la principal fuente de estos elementos en la dieta humana. El agua pura, es decir, exenta de todo material diferente de  $H_2O$ , no se considera recomendable para ser consumida en forma rutinaria por el cuerpo humano, ya que las sales naturales asociadas con sodio, calcio, potasio, magnesio, fierro, son utilizadas por el organismo humano.

Las concentraciones excesivas de algunos de estos compuestos que en un momento dado limitan el aprovechamiento del recurso con fines potables deben ser removidos hasta alcanzar las concentraciones, que de acuerdo con investigaciones profundas, no presentan riesgo a la salud humana.

Cabe destacar en este punto que algunos elementos como el calcio y el fierro, por ejemplo, no se han identificado necesariamente como tóxicos al cuerpo humano, y de hecho estos elementos se deben ingerir en cantidades importantes a través de alimentos e inclusive a través de medicamentos con altas concentraciones. En este caso sin embargo, se tienen algunos efectos secundarios relacionados con la estética del agua, es decir, su apariencia hacia el consumidor, el fierro por ejemplo imparte al agua natural un color de amarillo a rojo intenso dependiendo de su concentración, y esta a su vez aparece como una solución lechosa cuando el fierro se combina con el cloro en el proceso indispensable de desinfección, el calcio y magnesio son los principales elementos que provocan la dureza del agua con efectos sobre la formación de sarro en las tuberías y la inhibición de la actividad de los detergentes y los cloruros imparten sabor salado.

De acuerdo con la problemática anteriormente expuesta, es necesario ejecutar los trabajos relacionados con la experimentación y planeación de proyectos, encaminados a mejorar la calidad del agua que se extrae de los pozos con calidad deficiente, los cuales se han seleccionado a partir del diagnóstico de las condiciones de calidad del agua potable, basado en las características históricas de las fuentes de abastecimiento que relacionados con la evaluación analítica del sistema permitan realizar las obras de potabilización.

Para este caso en particular se evaluó la calidad del agua del pozo Tulyehualco 5 mediante pruebas de tratabilidad. Cabe mencionar que un elemento importante para el desarrollo del presente estudio fue la selección del sistema de tratamiento óptimo mediante la experimentación de diferentes trenes de tratamiento conformados por procesos unitarios que tenían un objetivo particular en cuanto a la remoción de los parámetros críticos. La experimentación se realizó en las instalaciones de la Planta Experimental "Santa María Aztahuacan" de la DGCOR, organismo perteneciente a la Dirección General de Obras del Departamento del Distrito Federal.

Mediante la experimentación se obtuvieron datos de calidad de agua de los diferentes trenes de tratamiento así como las condiciones de operación de cada uno de ellos. Estos datos fueron procesados estadísticamente para obtener la eficiencia de remoción por proceso y global del sistema, posteriormente esta información fue valuada para determinar el sistema de tratamiento óptimo cuyo efluente cumple con la calidad establecida por la Secretaría de Salud en la Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1 - 1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad.

### Sumario

Finalmente y con base en lo anterior el desarrollo de la ingeniería básica para la planta potabilizadora "Tulyehualco 5" se efectuará a partir de la información obtenida experimentalmente por un lado, por otro lado se cuenta con información que se ha venido recabando del pozo mediante el programa de vigilancia de la calidad del agua potable.

Esta información esta dividida en tres aspectos básicamente: en el historial de calidad del agua, en la litografía, construcción y capacidad de explotación del pozo y en la infraestructura con que se cuenta para la instalación de la planta potabilizadora.

Por lo anterior, se consideró pertinente integrar este documento en 5 capítulos desarrollados individualmente, pero estrechamente relacionados entre sí; por lo que el capítulo 1 describe detalladamente la recopilación de la información general del pozo mediante la cual, y a través de su análisis, fue posible determinar y proponer la base de diseño para el sistema de potabilización más adecuado, así mismo, el capítulo 2 contiene el desarrollo de las memorias descriptivas y el procedimiento de cálculo para cada una de las operaciones unitarias que integran el tren de tratamiento, el capítulo 3 describe la secuencia de cálculo y el procedimiento de selección del equipo electromecánico encargado de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de la planta en conjunto, posteriormente y una vez integrado lo que sería el sistema y/o proceso de tratamiento, se incluye un capítulo 4 dedicado específicamente a la descripción básica del proceso, en el se describe detalladamente los principios de operación de la planta en conjunto y además se hace mención de todos y cada uno de los componentes de la planta a través de su nomenclatura, previamente asignada. Finalmente, en el capítulo 5 se describen las especificaciones técnicas del material y equipo necesarios para la integración de todo el sistema de tratamiento, en el se describe los procedimientos a seguir para elaborar una requisición y/o solicitud de cotización y así obtener una propuesta por un fabricante para su evaluación técnico - económica.

## Justificación

Hoy en día el deterioro de las instalaciones como: problemas operativos, fallas estructurales, deficiente mantenimiento entre otros, han propiciado que la calidad del agua para consumo humano haya disminuido.

Por otro lado, la explotación de los acuíferos en el valle de México para el suministro de agua potable a los habitantes del Distrito Federal y área conurbada, es una práctica que se ha desarrollado desde el siglo pasado y se ha visto incrementada en épocas recientes, desde 1940, por el acelerado crecimiento de la ciudad. Aunado a este crecimiento no programado, se deben considerar los asentamientos irregulares ubicados en las zonas de recarga que al no contar con la infraestructura sanitaria, realizan la descarga de sus aguas residuales hacia fosas o al aire libre. Esta contaminación, por infiltración, hacia los mantos acuíferos y la sobreexplotación de los mismos ha causado efectos negativos en las características de la calidad del recurso.

En años recientes se ha identificado un deterioro gradual de la calidad del agua en varias zonas del Distrito Federal, especialmente en el oriente y sur donde se ubican las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Xochimilco.

Los principales problemas identificados son el incremento de sales inorgánicas disueltas, principalmente asociadas con Fe, Mn, Ca, Mg y K. En algunos casos específicos se ha identificado la presencia de materiales de origen orgánico principalmente asociado con la degradación biológica como por ejemplo el N-NH<sub>3</sub>, N-Protéico, DBO, DQO, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, normalmente no de consecuencias tóxicas la mayoría de ellos pero si de aspectos estéticos que limitan su aprovechamiento en diversas actividades.

La creciente demanda de agua potable y la dificultad de identificar otras fuentes de abastecimiento obligan a encontrar soluciones factibles que permitan alcanzar condiciones de agua potable para todo el recurso que pueda estar disponible en todo el Valle de México.

A esta situación obedece el establecimiento de complejos procesos de depuración, que en una secuencia adecuada permitan transformar el agua obtenida en acuíferos del oriente de la ciudad en agua apta para consumo humano.

## Objetivos

### General

El presente trabajo tiene por objetivo integrar un documento que contenga la información básica del diseño de los procesos unitarios que intervienen en la depuración del agua contaminada que se tiene en el pozo Tulyehualco 5, dar una descripción del sistema de potabilización y la secuencia lógica de operación de la planta en conjunto.

### Particular

Potabilizar el agua del pozo Tulyehualco 5, el cual por sus características de mala calidad no cumple con los límites máximos permisibles establecidos por la Secretaría de Salud en la Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1 - 1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad.

## Generalidades

Son pocas las operaciones de ingeniería o industriales que pueden llevarse a cabo con buenos resultados si se carece de un suministro constante de agua convenientemente adecuada. El agua de una calidad dada, satisfactoria para una serie de condiciones, puede ser totalmente inadecuada para otros fines.

La experiencia ha establecido, con bastante precisión, especificaciones definitivas para satisfacer los requisitos de agua en la mayoría de las industrias y han indicado tolerancias fuera de las cuales no es posible obtener resultados satisfactorios.

La purificación de agua que resulta satisfactoria para usos municipales es frecuentemente inadecuada para muchos procesos industriales. Evidentemente, no es práctico acondicionar al suministro público para toda una comunidad y lograr que el agua procesada satisfaga los requisitos específicos de grupos de industrias. Todas las industrias que dependen de suministros públicos de agua deben, razonablemente, esperar que el agua cruda suministrada se encuentre entre márgenes de especificaciones apropiadas. El tratamiento complementario de purificación, para destinarla a usos específicos, es una operación que corresponde a la iniciativa privada.

El agua es un líquido insípido, incoloro e inodoro. Se trata de un compuesto químico representado por la fórmula  $H_2O$  la cual indica que es la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno. Sin embargo, el agua químicamente pura es un líquido extremadamente escaso y difícil de obtener, debido precisamente a que es un solvente casi universal y en el que prácticamente todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. A causa de esta propiedad el agua se contamina frecuentemente por las sustancias con las que entra en contacto.

En la tierra, la mayor fuente de agua está constituida por los océanos y eventualmente todas las aguas regresan a estos depósitos. Del agua que cae sobre la corteza terrestre, aproximadamente una tercera parte fluye nuevamente al Océano por los cauces fluviales superficiales mientras que el doble de este volumen se evapora o es absorbido en el suelo para reaparecer posteriormente en manantiales o pozos, o llegar eventualmente al Océano por corrientes subterráneas.

El agua es una sustancia que tanto la industria como la población misma usa en vastas cantidades, que tanto en sus cantidades netas como en los tonelajes totales, sobrepasa por mucho a todos los materiales. Se requieren, por ejemplo, más de 250 toneladas para fabricar una tonelada de acero, sobre 700 toneladas para fabricar una tonelada de papel; más de 1200 toneladas para hacer una tonelada de aluminio, así mismo, para satisfacer la demanda de agua potable a la población del D.F. se requieren alrededor de 36 m<sup>3</sup>/seg (para aproximadamente 8 ½ millones de habitantes estimados para 1994). De esta manera está comprobado que prácticamente tanto en la población como en cualquier industria el mayor tonelaje de material consumido es agua.

Las fuentes de suministro pueden ser aguas superficiales (ríos, lagunas, canales, lagos), o pueden ser aguas subterráneas (pozos profundos, manantiales, o galerías filtrantes), pero cualquiera que sea la fuente de abastecimiento, el agua siempre contendrá impurezas, ya que no hay agua natural que sea químicamente pura.

En diferentes fuentes de abastecimiento, estas impurezas pueden variar, ya sea en el tipo y cantidad que contengan. De hecho, en muchas fuentes de abastecimiento, la composición del agua varía en diferentes periodos y sobre un intervalo más o menos amplio. Este es especialmente el caso con las corrientes superficiales que pueden mostrar, no únicamente cambios debidos a las estaciones del año, sino también debido a lluvias y a menudo presentan variaciones de hora en hora. Por otra parte, el agua de los lagos o de pozos profundos, es notablemente constante en composición aún en grandes periodos de tiempo.

Para propósitos de potabilización, las impurezas que pueden estar presentes en el agua de pozo se pueden agrupar de la siguiente manera: (1) sustancias minerales disueltas, (2) gases disueltos, (3) turbidez y microorganismos.

Que éstas impurezas sean dañinas o no, depende de: (1) la naturaleza y cantidad de las impurezas presentes, (2) usos a los cuales el agua este destinada (3) tolerancias para las varias impurezas para cada caso en particular.

### ***Suministros privados de agua***

Los abastecimientos privados de agua pueden tener su origen de (1) fuentes superficiales, (2) pozos profundos, o (3) combinaciones de estos dos tipos.

### ***Abasto de agua de Pozos***

Los abastos de agua por medio de pozos profundos, son un recurso muy usado tanto en la industria como para el suministro al público usuario. Estos tienen algunas ventajas sobre las aguas superficiales, entre las que se pueden citar claridad, estar libres de colores orgánicos, sabores y olores, una composición constante; están libres de contaminaciones de drenaje y desperdicios industriales, y tienen una temperatura constante. Los pozos profundos usualmente se dividen en dos clase principales, pozos profundos y pozos poco profundos. De una manera general, un pozo profundo es aquel que pasa a través de un estrado impermeable hasta localizar el agua que pasa debajo de él, mientras que un pozo poco profundo es el que meramente se extiende hasta una capa permeable para extraer el agua que pasa debajo de ella. La línea divisoria por lo que se refiere a profundidad, no es completamente clara, pero es práctica común de que pozos mayores de 30 m son considerados como pozos profundos, y los de menor profundidad como pozos no profundos. Los pozos poco profundos usualmente son de material no consolidado, y a menudo se cavan de manera que se les conoce como noria. El diámetro de estos pozos puede variar de 1 a 15 m. Los pozos de poca profundidad en vez de ser excavados, se hacen aplicando al terreno una punta perforadora, conocida como punta coladora o punta de perforación. Para hacer un pozo profundo generalmente se hace uso de barrenas, las que son obviamente necesarias para taladrar estratos de roca dura.

En localidades en donde el manto acuífero intervenido por un pozo es grande, puede suceder que toda el agua proveniente de pozos profundos en esa área tenga prácticamente la misma composición. El agua de pozo profundo tiene muy poca variación en la composición, aún considerando largos periodos de tiempo. Sin embargo, este no es siempre el caso, ya que en muchas áreas los pozos que penetran a la misma profundidad pueden encontrarse con diferentes mantos acuíferos y dar agua de distinta composición.

En general, debe esperarse que en un área dada el pozo de mayor profundidad de agua sería más altamente mineralizada que la obtenida de pozos poco profundos. Usualmente la composición del agua de un pozo dado variará dentro de estrechos límites por periodos de tiempo razonablemente largos, pero hay excepción; una de estas, es la contaminación por agua de mar, fenómeno que a menudo ocurre en aquellos campos de bombeo muy trabajados y que están cerca de la costa. Otra, es la contaminación por descargas incontroladas tanto de aguas residuales municipales como industriales, siendo estas últimas muy agresivas pues causan severos daños a la infraestructura y líneas de conducción.

Por otro lado, Mientras que los pozos profundos contienen agua invariablemente clara y casi libre de turbidez y color, algunos pueden contener fierro, sulfuro de hidrógeno y un pequeño número puede contener manganeso. En el caso particular del pozo "Tulyehualco 5" la problemática existente es la presencia de Mn en concentraciones que rebasan los límites establecidos tanto por la D.G.C.O.H. como por la Secretaria de Salud en la Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1 - 1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad.

#### Efectos del Fe y el Mn sobre la utilización del agua

La presencia de hierro y manganeso en el agua es indeseable, debido fundamentalmente a que la precipitación de estos metales modifican el aspecto del agua, a la que comunican un color turbio, que oscila entre el amarillo parduzco y el negro. Además, la deposición de estos precipitados provoca la formación de manchas en las instalaciones de fontanería y en la ropa lavada. Otra condición que se ha asociado a la presencia del hierro y manganeso en el abastecimiento de aguas es el desarrollo de microorganismos en los sistemas de distribución, ya que la acumulación de aquellos puede desembocar en la reducción de la capacidad de transporte de las tuberías, así como en el atascamiento de los contadores y válvulas.

El encenegamiento de las acumulaciones provoca frecuentemente una reacción adversa en los consumidores, así como quejas basadas en los malos sabores y olores del agua. Frecuentemente los residuos de losa o concreto, precipitados de Fe y Mn en las conducciones principales pasan de nuevo al estado de suspensión, al aumentar los caudales, con la consiguiente formación de turbiedades muy acusadas.

Por sí mismo el manganeso en concentraciones superiores a varios miligramos por litro (mg/l), comunican al agua un sabor que puede describirse como metálico, astringente o medicinal. Por último la precipitación de estos metales puede provocar dificultades en los procesos de tratamiento de aguas, como por ejemplo, en los de intercambio iónico.

Debido a las molestias ocasionadas por concentraciones relativamente pequeñas de estos metales, es preciso proceder al tratamiento de muchos abastecimientos de aguas subterráneas de municipios industriales y domicilios aislados con objeto de eliminar o controlar el Fe y Mn.

Desde el punto de vista comparativo, tan solo un reducido número de aguas superficiales necesita someterse a tratamiento para la eliminación del manganeso, en la mayor parte de los casos es el abastecimiento de aguas subterráneo el que se trata para eliminar este contaminante.

### Presencia del manganeso en las aguas naturales

La presencia del manganeso en las aguas subterráneas suele atribuirse a la disolución de rocas minerales, principalmente a los óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos que contienen estos metales. El manganeso se encuentra en mayores proporciones en las rocas metamórficas y sedimentarias, mientras que en las de tipo ígneo su presencia apenas tiene importancia. Los óxidos de manganeso, tales como la manganita ( $MnOOH$ ), pirolusita ( $MnO_2$ ) y hausmanita ( $Mn_3O_4$ ) se acumularán en los suelos a medida que los constituyentes más solubles se separan por lixiviación de las rocas expuestas a la intemperie. La rodocrosita ( $MnCO_3$ ) es especialmente importante para el equilibrio del manganeso en las aguas naturales, mientras que la alabandita ( $MnS$ ) parece tener menor importancia.

### Recapitulación de conceptos fundamentales

El desarrollo de la Ingeniería Sanitaria a través de la historia ha sido gradual, de acuerdo a las necesidades de abastecimiento de agua, recolección y tratamiento. Ya en épocas recientes, se observa el desarrollo acelerado de esta ciencia multidisciplinaria, lo que permite la investigación de fenómenos naturales de autopurificación, simulados en laboratorio y en modelos a pequeña escala. El conocimiento de distintos procesos de tratamiento de uso común, permitirá entender de una mejor manera el manejo hidráulico de cada uno de ellos; así podemos observar particularidades hidráulicas en cada unidad de proceso, algunos de ellos son: desarenadores, cárcamos de bombeo, sedimentadores primarios, reactores biológicos, tanques de contacto con cloro, torres de carbón activado, filtros de arena, a presión o por gravedad, mezcladores en línea, esto es en cuanto a la potabilización de agua.

A pesar de la diversidad de procesos de tratamiento y de operaciones unitarias, las estructuras hidráulicas que se requieren para la conducción y control del agua que pasa a través de las plantas de tratamiento pueden ser similares, independientemente del proceso utilizado. Así, tenemos el uso de tuberías, piezas especiales, canales, canaletas, onficios, múltiples alimentadores y vertedores de diversas formas. El entendimiento del funcionamiento y los procedimientos de cálculo de estas estructuras hidráulicas, permitirán calcular los flujos mínimo, y máximo que pasarán a través de ellas. Algunas de estas estructuras son conocidas como "estructuras de control" por que su diseño permite tener puntos conocidos dentro del perfil hidráulico, lo que normalmente se logra con el uso de vertedores. El diseño de las plantas potabilizadoras involucra actividades típicas de diferentes especialidades como son los proyectos: Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle, Ingeniería de Procura, Funcional, Hidráulico, Estructural, Arquitectónico y Electromecánico entre otros, cada uno de estos segmentos del diseño debe realizarse correctamente para que la planta sea funcional y logre la eficiencia de tratamiento para lo que fue concebida a lo largo de su período útil. La mayor parte dentro del campo de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, enfatizan el conocimiento de los procesos y operaciones de tratamiento y potabilización, sus variables y su control, con la finalidad de preparar al estudiante para realizar el proyecto funcional.

El Ingeniero Ambiental en lo general debe estar familiarizado con el diseño hidráulico de las plantas potabilizadoras y debe tener al menos los conocimientos básicos de la hidráulica y sus aplicaciones, pues, además de ser factor que afecta algunos procesos de potabilización, es importante en la economía de la planta.



## Procesos de potabilización

Dentro del campo de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental, los procesos utilizados para el diseño y construcción de plantas potabilizadoras a pie de pozo son una herramienta de gran utilidad para la solución de problemas por contaminación subterránea. A continuación se da una descripción breve de los procesos utilizados para la remoción de estos contaminantes en este caso en particular.

### *Oxidación*

Para conseguir la eliminación de ciertas materias minerales disueltas indeseables (compuestos de Fe y Mn, por ejemplo), se recurre, frecuentemente a procesos químicos como la oxidación en esta operación se propicia una reacción óxido - reducción entre dos agentes reaccionantes en donde uno al oxidarse pierde electrones y el otro al reducirse gana electrones cambiando así el estado actual en que se encuentran, a continuación se da una descripción generalizada de esta operación:

### *Cloración al punto de quiebre (Break - Point)*

La cloración al punto de quiebre, o punto crítico, es la dosis de cloro correspondiente al mínimo "m" de la curva para la cual solo queda en el agua cloro libre y trazas de cloraminas.

Esto se explica por que cuando se añade cloro al agua las sustancias fácilmente oxidables tales como  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $H_2S$  y la materia orgánica reaccionan con el cloro reduciendo la mayor parte de él a ion cloruro. Tras satisfacer esta demanda inmediata de cloro continuará reaccionando con el amoniaco para formar cloraminas.

En el caso de relaciones molares de cloro amoniaco menores que 1, se formarán monocloraminas y dicloraminas, lo cual no es este el caso.

Para complementar esta descripción en los anexos se incluye una gráfica que explica la curva generalizada durante la cloración al punto de quiebre.

### *Filtración*

La filtración del agua es un proceso fisicoquímico que permite separar los sólidos en suspensión y la materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. La filtración consiste en hacer pasar un fluido con materia en suspensión, a través de un lecho filtrante, compuesto de material granular que permita el paso del líquido pero no de las partículas sólidas.

En el proceso de depuración de aguas mediante la utilización de la operación de filtración debe tenerse en cuenta que la pérdida de la eficacia del proceso del filtro se presenta cuando el agua efluente contiene una concentración de sólidos por encima del nivel prefijado, o bien se produce una pérdida de carga mayor que la estudiada; cuando se llega a este punto el sistema de filtrado debe ser lavado con agua a contracorriente.

Entre otros, la filtración tiene por objetivos:

- ◆ Disminuir la carga de sólidos y material coloidal en el agua.
- ◆ Remover partículas y materia coloidal no sedimentable después de la floculación biológica o química de ambas.
- ◆ Incrementar la remoción de sólidos, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados, asbestos, bacterias, virus y otras sustancias.
- ◆ Mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida.
- ◆ Asegura la operación continua de la planta y una calidad del efluente constante.
- ◆ Los tipos de filtración mas utilizados son filtros rápidos a presión o por gravedad de flujo descendente. El lecho filtrante es comúnmente de grava, antracita y arena.

### Adsorción

La adsorción con carbón activado involucra la acumulación o concentración de sustancias en una superficie o interfase, la cual puede ser entre un líquido y un gas, un sólido u otro líquido. La adsorción es una operación en la cual la materia es extraída de una fase y concentrada en la superficie de otra, por esta razón es llamado un fenómeno de superficie, por lo tanto servirán como adsorbentes aquellos sólidos que tengan una gran área de superficie interna, ya que la superficie externa, incluso en el caso de estar finalmente dividida, es relativamente pequeña. Los adsorbentes típicos tienen áreas superficiales de 50 a 500 m<sup>2</sup>/gr con un radio de poro de 1 a 100 nm.

En el siguiente cuadro se muestran los adsorbentes mas comúnmente utilizados en la industria para llevar a cabo esta operación.

Cuadro.- Clasificación de Adsorbentes

ADSORBENTE	USOS INDUSTRIALES
Tierra de Fuller	Decoloración del petróleo y aceites combustibles
Bauxita	Deshidratación de gases
Carbón de Huesos	Refino de azúcar
Carbón Activo	Decoloración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Recuperación de disolventes. Eliminación de olores y gases. Purificación de gases.
Alúmina Activada	Deshidratación de gases y líquidos
Gel de Sílice	Deshidratación y purificación de gases, caretas antigás.
Tamices Moleculares	Adsorción selectiva de partículas polares

Nota: Al final del apartado 2.3 se muestra los cuadros comparativos de los diferentes tipos de carbón activado y sus características.

Todos estos adsorbentes tienen la ventaja de que pueden ser regenerados convenientemente para su posterior reutilización. Existen varios ciclos de regeneración de estos adsorbentes, los más utilizados son el vapor de agua, que actúa aumentando la temperatura como gas de purga inerte y al mismo tiempo como desplazamiento del adsorbato, por su disponibilidad y bajo precio.

La adsorción puede ocurrir como resultado de dos propiedades distintas o por separado del sistema de agua cruda - carbón activado o por alguna combinación de las

dos; 1) La baja solubilidad en particular del soluto en el agua a tratar, y 2) La alta afinidad de un soluto al carbón activado. De acuerdo con el concepto más ampliamente aceptado de la adsorción, este fenómeno de superficie ocurre predominantemente por alguna de las causas siguiente: por atracción eléctrica del soluto al carbón, por fuerzas de Van Der Waals o por naturaleza química. La efectividad de la adsorción dentro de la planta de tratamiento esta influenciada por la temperatura y el pH del agua, así como también depende del tiempo de contacto, características y concentración de contaminantes y material adsorbente. Mediante este proceso se lleva a cabo la remoción de materia orgánica, compuestos nitrogenados y color.

### **Desinfección con cloro**

La desinfección de las aguas consiste en la eliminación de los organismos, presentes en el agua del pozo, que puedan producir enfermedades. Se debe diferenciar entre la desinfección y la esterilización, ya que esta última implica la destrucción total de los microorganismos, mientras que la primera implica la destrucción de los organismos, que por ingestión pueden producir enfermedades en los hombres o en los animales.

Los tres principales organismos que pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos.

La desinfección puede realizarse mediante la utilización de productos químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación. Los productos químicos utilizados como desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol, y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos y álcalis, aunque en términos generales los productos más empleados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada.

Los agentes físicos, son el calor, la luz y la radiación ultravioleta; Los medios mecánicos no son especialmente utilizados como destructores de organismos, sino que su actuación es consecuencia de un proceso secundario de su misión principal. La desinfección por radiación se realiza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos gamma. La radiación gamma se utiliza tanto para desinfectar y esterilizar las aguas residuales como las potables.

El cloro puede aplicarse en forma de sales, tal es el caso del hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio que se expenden en polvo o en solución en concentraciones que van desde 12 a 70 %. La desinfección con cloro es por lo tanto el proceso que hasta la fecha reúne las mayores ventajas: es eficiente, de fácil aplicación y deja un efecto residual que se puede medir por sistemas muy simples. Tiene, en cambio, la desventaja de ser corrosivo y especialmente en algunos casos, formar subproductos posiblemente peligrosos para la salud y producir sabor desagradable en el agua.

Nota: En las tablas 2.1-I y 2.1-II del capítulo No. 2 se describen las propiedades y características del Hipoclorito de sodio, y en el cuadro sinóptico 2.1 se resumen las propiedades toxicológicas del Hipoclorito de sodio, posteriormente en el apartado 2.4 se da una descripción más detallada de la aplicación de esta operación.

### **Proyectos en la Industria de Proceso**

Por proyecto se puede entender todo el camino que hay que recorrer para alcanzar un objetivo cuyo logro requiere de una serie de actividades en las que intervienen diversas disciplinas de ingeniería para su ejecución. Aún en este sentido restrictivo, puede tenerse una amplísima variedad de proyectos, por ejemplo el diseño de un componente de una maquinaria, la construcción de un edificio, la investigación y el desarrollo de un nuevo proceso, la erección de un proceso petroquímico, ambiental, etc.

Un proyecto puede ser relativamente sencillo y de corta duración involucrando unas cuantas actividades o inmensamente complejo con participación multidisciplinaria en muchas actividades en un largo periodo. En general se pueden identificar las siguientes fases en la ejecución de los proyectos de la industria de proceso:

- Análisis de Factibilidad Técnico – Económica
- Planeación
- Ingeniería Básica
- Ingeniería de Detalle
- Adquisiciones
- Construcción
- Pruebas y Arranque

Estas tareas si bien son diferenciables, presentan una profunda interrelación, es decir, para iniciar la ingeniería de detalle se requiere que ciertas actividades de ingeniería básica hayan concluido, pero algunas de estas a su vez, necesitan de cierta información de la fase de detalle. En este caso en particular los comentarios están orientados hacia la fase de ingeniería básica.

#### **Ingeniería Básica**

La ingeniería básica inicia con el diseño del proceso, macroactividad que parte de un análisis de las bases de diseño, orientado a generar una primera tentativa de esquema de procesamiento y asignar valores, también preliminares, a tantas variables como grados de libertad se presenten en el modelado matemático del proceso. Sigue una serie de cálculos complicados que actualmente se realizan con simuladores de proceso en sistemas de computo. De los cálculos surgen los balances de materia y energía (BME), con datos de flujo, composición y requerimientos de energía, así como las propiedades y características de todas las corrientes de interconexión de los equipos de procesamiento. A continuación, procede el dimensionamiento del equipo; en el se generan datos de diámetros, alturas, volúmenes, pesos, etc. Y de materiales de construcción, que constituyen los elementos para el estimado de la inversión.

Una vez definido el esquema de procesamiento y las variables óptimas de operación habrá que realizar un análisis conceptual del comportamiento del proceso, bajo las diferentes circunstancias normales o anormales que puedan presentarse durante la operación. De este análisis resultan valores límite de flujo, presión y temperatura de las corrientes, y que se deben considerar en el diseño definitivo de los equipos y de las tuberías de interconexión.

En estos diseños se entra en mayores detalles pues, en el caso de los equipos será necesario definir con precisión todas las características internas geométricas y dimensionales, Así mismo en las tuberías se tendrán que considerar no solo las líneas

principales, sino también las auxiliares, para propósitos de arranque, paro, purgas o emergencias. Es necesario definir los controles requeridos en el proceso, los instrumentos de medición y registro de: flujos, presiones, temperaturas, niveles, composiciones, etc., las válvulas de operación manual, las de control automático y las de seguridad. En esta etapa el dimensionamiento de las líneas se fundamenta en los criterios de velocidad o de caída de presión por unidad de longitud, y en una etapa posterior, en la que se tienen trayectorias de líneas e isométricos de las tuberías se hace una verificación hidráulica, con el cálculo de caídas de presión en las líneas con flujos de líquidos, de gases y a dos fases. El diseño de tuberías, válvulas, conexiones e instrumentos también se hace para las líneas de servicios auxiliares.

Otro aspecto en el diseño de un proceso es el de la localización física de los equipos en el área disponible de terreno, donde intervienen factores de operación, seguridad y económicos para la definición.

Los documentos típicos generados en esta fase son:

- Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)
- Balance de Materiales e información complementaria
- Descripción del proceso
- Lista de Equipo
- Requerimientos de servicios auxiliares y agentes químicos
- Diagramas de suministro y consumo de servicios
- Hojas de datos de equipo de Proceso
- Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI)
- Diagramas de sistema de desfogue
- Lista de líneas
- Índice de Instrumentos
- Hojas de datos de válvulas de control
- Hojas de datos de válvulas de seguridad
- Hojas de datos de instrumentos
- Resumen de alarmas de paros y arranques
- Plano de localización General
- Filosofía Básica de Operación.

En los capítulos siguientes se hace una descripción detallada de la secuencia y desarrollo de este documento.

***CAPITULO 1***

***BASES DE DISEÑO***

## 1 Bases de Diseño

### Introducción

Las bases de diseño son el documento en el que se establecen todas las características técnicas que definen los objetivos del proyecto. Este documento se genera a partir de un cuestionario previamente preparado y en común acuerdo con los especialistas funcionales que tendrán que intervenir en el desarrollo del proyecto. El cuestionario de Bases de diseño contiene la información fundamental que permitirá el desarrollo de la ingeniería básica, este documento deberá contener básicamente, para proyectos industriales, los siguientes puntos:

- Nombre de la Planta.
- Localización.
- Función de la Planta.
- Tipo de Proceso.
- Capacidad, Rendimiento y Flex.
- Esp. de las alimentaciones de proceso.
- Especificaciones de los productos.
- Condiciones de aliment. a la planta.
- Condiciones de los productos.
- Eliminaciones de los desechos.
- Instalaciones requeridas de almacenamiento.
- Condiciones y especificaciones de los S.A.
- Condiciones climatológicas.
- Datos de localización de la planta.
- Bases de diseño eléctrico.
- Bases de diseño de tuberías.
- Bases de diseño civil.
- Bases DE diseño para instrumentación.
- Bases de diseño de equipo.
- Normas códigos y especificaciones.

Como se puede observar, este cuestionario da origen a las bases de diseño para la etapa correspondiente al desarrollo de proyecto. En ella se establecen las bases de diseño para cada uno de los departamentos funcionales.

#### 1.1 Información básica del pozo

La información considerada para el desarrollo de la Ingeniería Básica de la planta potabilizadora a pie de pozo "Tulyehualco 5", es la relacionada con los datos constructivos del pozo, como la profundidad total, nivel estático, nivel dinámico y profundidad del punto succión de bomba, etc. Este aspecto queda concluido en el "corte geológico" del pozo (ver anexo fig. 1.1-I). Otro aspecto importante en la obtención de la base de diseño es el análisis del "Historial de Calidad" del agua del pozo (ver anexo tabla 1.1-I), ya que a partir de su análisis, como se verá mas adelante, se identificarán los contaminantes y sus concentraciones en el agua.

A continuación se presenta la relación de aforos de gasto de algunos pozos del sur - oriente del D.F. que tienen problemas de calidad.

**Cuadro 1-4**  
**Relación de aforos de gastos**

NOMBRE DEL POZO	GASTO lps
ESCUDO NACIONAL 1	62
R-11	52
CERRILLOS 2	57
SANTA CRUZ ACALPIXCA 1	41
SAN GREGORIO ATLACAPULCO 1	38
TULYEHUALCO 2	25
TULYEHUALCO 4	78
TULYEHUALCO 5	51

## 1.2 Evaluación de calidad del agua

### 1.2.1 Normas y criterios de calidad

El gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica lleva a cabo la vigilancia de la calidad del agua de sus fuentes de abastecimiento (pozos, manantiales) mediante programas de monitoreo continuo.

Estas labores de control y vigilancia de la calidad del agua se realizan con tecnología avanzada, la cual permite conocer las características fisicoquímico - biológicas del agua de tal manera que estas cumplan con los valores establecidos por parte de la Secretaría de Salud 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 potabilización" tabla 1.2.1-I.

Estos valores guía representan el nivel (en cantidad o concentración) de un componente que garantiza que el agua será aceptada por los consumidores y además no causará riesgo alguno para su salud.

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

Algunos criterios son emitidos por instituciones nacionales e internacionales como S.E.M.A.R.N.A.P., Environmental Protection Agency (EPA) USA, Canadian Guidelines for Drinking Water Quality (Canada), Comunidad Económica Europea y la misma D.G.C.O.H., estos criterios se sugieren límites máximos a considerar basados principalmente en las experiencias obtenidas en investigaciones científicas y bibliográficas realizadas a lo largo de los años tabla 1.2.1-II.



Tabla 1.2.1-I  
Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1 - 1994

PARAMETRO REGULADO	UNIDADES	NOM 127 SSA1-1994	D.G.C.O.H. (Criterio)
Sabor		agradable	
Color	U Pt/Co	20.0	
Turbiedad	UTN	5.0	
Conductividad	µmhos/cm		1500
pH	U pH	6.5 - 8.5	
Olor		agradable	
Dureza Total	mg/l	500	
Alcalinidad Total	mg/l		400.0
OCMA	mg/l		3
CRL en aguas cloradas	mg/l	0.2	
CRL en aguas sobredoradas	mg/l	1.5	
Aluminio	mg/l	0.2	
Arsénico	mg/l	0.05	
Boro	mg/l		2
Cloruros	mg/l	250	
Cromo Total	mg/l	0.05	
Cobre	mg/l	2	
DQO soluble	mg/l		4
Fenoles	mg/l	0.001	
Hierro	mg/l	0.3	
Fósforo	mg/l		50
Fluoruros ( como F )	mg/l	1.5	
Manganeso	mg/l	0.15	
Mercurio	mg/l	0.001	
Nitratos ( como N )	mg/l	10.0	
Nitritos ( como N )	mg/l	0.05	
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.5	
Nitrógeno Proteico	mg/l		0.1
Plomo	mg/l	0.025	
Potasio	mg/l		100
S.A.A.M.	mg/l	0.5	
Sodio	mg/l	200	
Sólidos dis. tot.	mg/l	1000	
Sulfatos ( como SO <sub>4</sub> )	mg/l	400	
Trihalometanos tot.	mg/l	0.2	
Zinc	mg/l	5	
Coliformes Totales	NPM/100 ml	2	
Coliformes Fecales	NPM/100 ml	0	
Aldrín	µg/l	0.03	
Dieldrín	µg/l	0.03	
Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/l	0.03	
Motocicloro	µg/l	20	
2, 4 Dieldrín	µg/l	50	
Gamma - HCH (lindano)	µg/l	2	
DDT (total de isómeros)	µg/l	1	
Clordano (total de isómeros)	µg/l	0.3	
Endosulfan (□ y □)	µg/l	74	
Radiactividad alfa global	Bq/l	0.1	
Radiactividad beta global	Bq/l	1	

Tabla 1.2.1-II  
Estándares Federales de agua Potable de los E.U.A.

Parámetro	EPA Primary Standards (mg/l)	EPA Primary Standards (mg/l)
Turbidez	<5.0	
Color		15
Olor		3
Corrosividad		No corrosivo
Agente Espumante		0.5
pH		6.5-8.5
Endrín	0.0002	
Lindano	0.004	
Methoxychlor	0.1	
Toxafeno	0.005	
2,4-D	0.1	
2,4,5-TP Silvix	0.01	
Radioactividad		
Gross Alpha +	<5 picocuries/litro	
Gross Beta		
Trihalometanos	100ppb	
Arsénico	0.05	
Bario	1	
Cadmio	0.01	
Cloruros		250
Cromo	0.05	
Cobre		1
Hierro		0.3
Plomo	0.05	
Manganeso		0.15
Mercurio	0.002	
Nitratos(N)	10	
Selenio	0.01	
Plata	0.05	
Sulfatos		250
SDT		500
Zinc		5

Como se puede apreciar, el criterio de calidad de la DGCOH y la EPA Secondary Standard para el Manganeso es similar y requiere que el proceso seleccionado tenga una eficiencia de remoción de Manganeso total del 90 al 95 % para cumplir con el criterio.

### 1.2.2 Identificación de contaminantes

Con base en la información obtenida tanto de las pruebas de tratabilidad como del histórico de calidad, se puede observar que la caracterización del agua del pozo Tulyehualco 5 data de Febrero de 1964 a diciembre de 1998. Como un antecedente, se sabe que en los inicios de su operación, el pozo cumplía con las normas y/o criterios vigentes, a partir de la entrada en vigor de la Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1/ 1994 en la que establece valores límite, o máximos permisibles, de concentración de manganeso de 0.15 mg/l, la calidad del agua del pozo se ve afectada, motivo por el cual se incurre en la necesidad de mejorar su calidad.

En este apartado se presenta la caracterización del agua que se alimentará a los procesos de la planta potabilizadora "Tulyehualco 5". Para establecer la calidad del agua del pozo se tomaron en consideración los siguientes factores:

- Se dispone de un historial de los últimos años de la calidad del agua, a partir de la entrada en vigor de la NOM antes mencionada.
- A partir del análisis estadístico y de la gráfica de proyección (fig. 1.2.3.2-1) se deduce que en el curso de los próximos años se hará presente un deterioro de los parámetros físico – químico - biológicos de calidad del agua del pozo.

Por lo tanto, Con la información disponible hasta el momento se ha preparado la tabla 1.2.2-1, que contiene los resultados de un análisis estadístico de los 29 parámetros sancionados, reportados en el historial de calidad del agua del pozo Tulyehualco 5.

**TABLA 1.2.2-1**  
**Análisis de parámetros sancionados por la NOM-127-SSA-1994**

Parámetro	unidad	Valor	Criterio de Calidad	Excede la Norma
Color	U Pt/Co	5.98	20	No
Conductividad	µmhos/cm	317.6	1500	No
pH		7.89	6.5-8.5	No
Sólidos Totales	mg/l	237.9	1000	No
Alcalinidad total	mg/l(CaCO <sub>3</sub> )	133	400	No
Cloruros	mg/l	19	250	No
Dureza total	mg/l(CaCO <sub>3</sub> )	94.4	500	No
Fluor	mg/l	0.24	1.5	No
Nitrógeno amoniacal (N)	mg/l	0.13	0.5	No
Nitrógeno protéico (N)	mg/l	0.10	0.1	No
OCMA	mg/l	0.757	3	No
Sulfatos	mg/l	7.55	400	No
Arsénico	mg/l	0.00116	0.05	No
Cadmio	mg/l	0.00614	0.005	No
Calcio	mg/l	13.38	200	No
Zinc	mg/l	0.0148	5	No
Cobre	mg/l	0.01297	2	No
Cromo total	mg/l	0.0072	0.05	No
Hierro	mg/l	0.0429	0.3	No
Manganeso	mg/l	0.2134	0.15	si
Mercurio	mg/l	0.0003	0.001	No
Plomo	mg/l	0.05	0.025	si
Potasio	mg/l	3.252	100	No
Selenio	mg/l	0.0006	0.05	No
Sodio	mg/l	38.657	200	No
Magnesio	mg/l	14.667	120	No
Cuenta Estándar		986.7	6500	No

De los parámetros analizados anteriormente, se observa que el único que se encuentra fuera de la norma y con tendencia a incrementar su concentración a futuro es el manganeso. También se observa que el N-protéico se encuentra en los límites máximos permisibles por la norma vigente, por lo que se tienen que tomar las medidas necesarias para su control.

Tabla 1.2.2-I  
Resumen de calidad

Parámetro	unidad	Valor	Criterio de Calidad DGCOH - DDF
Manganeso Total. (Promedio)	mg/l	0.2134	0.15
Manganeso Total. (Máximo)	mg/l	0.462	0.15
N - protéico	Mg/l	0.1	0.1

### 1.2.3 Análisis estadístico para el Manganeso

De los datos reportados en el histórico de calidad del agua del pozo, tabla 1.1-I (anexos) se observan valores que oscilan entre 0.018 mg/l y 0.462 mg/l donde el 78.2 % de los datos registrados en el historial de calidad sobrepasaron el valor de criterio establecido por la D.G.C.O.H. para este parámetro.

Por lo tanto, para determinar las medidas de tendencia se llevó a cabo un análisis estadístico de este parámetro, los resultados encontrados son los siguientes.

La media aritmética obtenida es de 0.2134.

La media geométrica es de 0.19718.

La desviación estándar es 0.103853.

#### 1.2.3.1 Proyección de calidad al año 2010

Tomando en cuenta el comportamiento histórico de los datos de calidad del agua del pozo y considerando una proyección de calidad para el año 2010, se observa que el comportamiento de la concentración del manganeso es de tipo ascendente como se puede ver en la figura 1.2.3.2-I. El comportamiento de la concentración del Mn se describe por la siguiente ecuación:

$$y = 0.0044x - 8.5085$$

Comportamiento Histórico del Manganeso (Criterio 0.15)

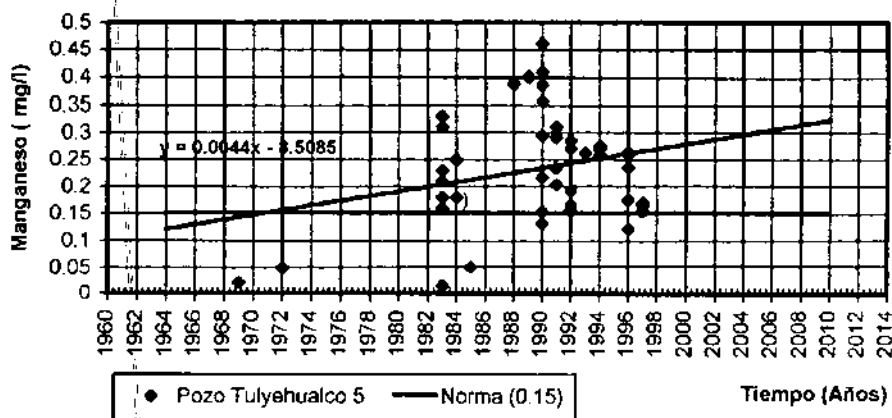


Figura 1.2.3.2-I.- Comportamiento histórico del Mn.

Como se puede apreciar en la figura 1.2.3-i el pozo Tulyehualco 5 ha venido presentando problemas de concentración de manganeso, la gráfica muestra que para el Año 2010 el manganeso alcanzará concentraciones de hasta 0.33 mg/l, por tal motivo es necesario tomar medidas preventivas para corregir este problema.

Cabe mencionar que la ecuación que describe el comportamiento de la concentración del Mn fue obtenida con el programa utilizado para el procesamiento de los datos, que en este caso fue Excel, por lo que no se utilizó ningún método aproximado para el ajuste de esta línea de tendencia.

Una vez identificadas las causas (parámetros) que ocasionan la mala calidad del agua del pozo es indispensable corregir o eliminar la causa para evitar que repercuta esta situación en la salud de los usuarios.

#### 1.2.3.2 Diagnóstico de la calidad

Tomando como referencia la fuente de datos almacenados (histórico de calidad), con respecto a la calidad del agua del pozo Tulyehualco 5, se observa que su principal problema es el exceso de manganeso el cual altera las características organolépticas del agua, tales como olor, sabor y turbiedad además de que causan interferencias en el proceso de la desinfección, igualmente estos compuestos dan lugar a la formación de nitritos en sus reacciones de oxidación así como también pueden causar posibles daños a los filtros para la remoción del manganeso.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario que este exceso en la concentración de estos componentes sea removido, y para ello se propone la remoción mediante un tratamiento químico, físico o biológico del agua o una combinación de estos tratamientos.

### 1.3 Alternativas de tratamiento

La remoción de manganeso en el agua para propósitos de potabilización es un proceso complejo en el cual se llevan a cabo varios procesos químicos y físicos los cuales deberán ser considerados a detalle para llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos de tratamiento. El propósito del tratamiento para la remoción de manganeso es oxidar los iones bivalentes de manganeso ( $Mn^{2+}$ ) de su forma manganesosa soluble o en forma alternativa prevenir la oxidación de estas formas tomando ventaja de la capacidad secuestrante que tienen ciertos compuestos formadores de quelatos. De estas dos alternativas básicas, la oxidación y separación de los óxidos insolubles es el proceso más comúnmente usado, por lo cual se recomienda su aplicación en la planta potabilizadora Tulyehualco 5.

Los problemas asociados por la presencia de Mn en el agua potable son principalmente estéticos por efecto de la cloración y sabor que se le imparte al agua a concentraciones mayores a 0.15 mg/l. Otros problemas asociados con la presencia de Mn se deben a la actividad biológica de las bacterias del género *Cionothrix* y *Crenothrix* que metabolizan el manganeso y las cuales pueden generar una demanda adicional de cloro para desinfección, además de la presencia de quelatos orgánicos en el agua de pozos contaminada con orgánicos, los cuales son difíciles de remover por los procesos convencionales de oxidación, afortunadamente el agua del pozo Tulyehualco 5 no presenta este último problema.

Las aguas con alto contenido de Fe y Mn son típicas de las aguas subterráneas y el pozo Tulyehualco 5 tiene la característica especial de tener una concentración mayor de Mn en relación de 5:1 a la concentración de Fe.

Las aguas subterráneas con alto contenido de  $\text{CO}_2$  y que se encuentran en condiciones de ausencia de oxígeno (anaerobias) son posibles candidatas a tener altas concentraciones de Fe y Mn soluble, las cuales por efecto de la oxigenación cuando el agua de pozo descargada a la atmósfera sufren una oxidación para formar los respectivos óxidos, coloreando el agua café o negro según la presencia de Fe o Mn y enturbiándose por efecto de la formación de precipitados.

### 1.3.1 Procesos de remoción de Mn

Existen varios procesos de remoción de manganeso sin embargo para los diferentes tipos de agua los efectos de la cinética del proceso en la eficiencia de remoción son de particular importancia. En los párrafos siguientes se hace una breve descripción de las tecnologías disponibles para la remoción de manganeso, con el propósito de tener un panorama completo para soportar la selección del proceso.

#### 1.3.1.1 Proceso de aireación

La aireación del agua tiene como propósito transferir oxígeno para llevar a cabo la oxidación y adicionalmente remover orgánicos volátiles los cuales pueden interferir en el proceso de oxidación. El proceso de aireación es poco efectivo para la remoción de Mn ya que la reacción es muy lenta y poco efectiva a  $\text{pH} < 9.5$ . La aireación es llevada a cabo en forma eficiente por difusión a través de difusores porosos en bacines de contacto de 3 a 5 m de profundidad y con relaciones volumétricas de aire/agua de 0.75:1 con eficiencias de transferencia de oxígeno de 5 a 10%.

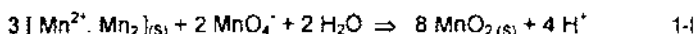
El uso de aireadores mecánicos superficiales ha sido también aceptable, después de la aireación se requiere de un tiempo de contacto en el bacín que puede estar entre 5 a 60 min. para permitir la formación de un floc filtrable, se ha recomendado en algunos casos el uso de coagulantes y una etapa preliminar de clarificación antes de la filtración. Algunos procesos de oxidación por aireación hacen uso de catalizadores tales como  $\text{Cu}^{++}$  efectivo para la remoción de Fe y  $\text{KMnO}_4$  para la oxidación de Mn.

#### 1.3.1.2 Proceso de oxidación con ozono

El proceso puede ser utilizado para llevar a cabo la oxidación de Fe y Mn, sin embargo es raramente utilizado en la práctica y se han reportado muy pocas instalaciones industriales en uso para este propósito. El ozono es poco efectivo cuando la oxidación se lleva a cabo en presencia de compuestos orgánicos, formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno, también pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo, o hierro. El proceso de oxidación con ozono tiene algunas desventajas, la primera es debida a la sobresaturación del oxígeno y aire disuelto, esta saturación provoca que el agua tenga características corrosivas y provoque efervescencia cuando se desgasifica por una disminución súbita de presión, por lo que requiere ser desgasificada en un recipiente para éste propósito, la segunda desventaja es que una sobredosis de ozono puede oxidar el  $\text{Mn}^{++}$  a  $\text{Mn}^{7+}$  (o permanganato) resultando en una coloración de tono rosado en el agua tratada.

### 1.3.1.3 Proceso de oxidación con permanganato de potasio

El permanganato de potasio es utilizado de dos maneras para la remoción de manganeso, el proceso normal consiste en dosificar el permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) en solución antes de un filtro con características especiales, las reacciones de oxidación requieren de un tiempo de contacto de 5 min. a  $20^\circ\text{C}$  o 10 min a  $1^\circ\text{C}$ , el medio filtrante puede ser arena verde, arena sílica y/o antracita, en el caso del medio formado por arena y/o antracita, se requiere que el medio granular se cubra con una capa de  $\text{MnO}_2$  bajo una operación controlada que requiere de varios días bajo una dosis de alimentación de permanganato optima, durante este proceso de formación de capa ocurre una remoción marginal de Mn, una vez que el proceso de formación de capa es concluido el proceso opera satisfactoriamente dentro de valores de pH arriba de 7.5. La otra manera de utilizar el permanganato es como medio regenerante cuando se utiliza como medio filtrante arena o zeolita verde (greensand) en forma periódica ya que este medio funciona bajo el principio de adsorción de iones  $\text{Mn}^{++}$  sobre la superficie de  $\text{MnO}_2$  el permanganato regenera la capacidad de adsorción de la zeolita de acuerdo a la reacción:



El proceso de filtración normalmente usado para la remoción de manganeso (y/o hierro) es la filtración a presión, los filtros son generalmente diseñados para una velocidad de filtración de 240 a 480  $\text{m}^3/\text{m}^2$  día (4 a 8 gal/minft<sup>2</sup>), las velocidades de retrolavado típicamente se encuentran en el intervalo de 480 a 1200  $\text{m}^3/\text{m}^2$  día (8 a 20 gal/minft<sup>2</sup>) dependiendo del tamaño del medio, la temperatura y el sistema auxiliar de lavado, el tamaño efectivo y la profundidad del medio son similares a los utilizados en aplicaciones normales de filtración, en el caso de la zeolita (greensand) es común utilizar un tamaño efectivo pequeño menor a 0.3 mm.

### 1.3.2 Otros procesos de remoción de Manganeso

El proceso de suavización con cal en exceso es un método efectivo para la remoción de Fe y Mn, sin embargo este proceso no se utiliza para su remoción exclusivamente ya que no es económico, sin embargo la remoción de Fe y Mn es afectada por la preaeración del agua, el pH de precipitación el cual debe ser normalmente  $> 9.5$  y la existencia de suficiente alcalinidad ( $> 20 \text{mg/l CaCO}_3$ ).

Otro método, el cual no es propiamente un proceso de remoción consiste en utilizar un químico secuestrante, normalmente hexametáfosfato de sodio ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{40}$ ) dosificado antes que el agua entre en contacto con el oxígeno atmosférico u otro agente oxidante, el propósito de agregar este agente secuestrante es mantener el Fe y Mn en forma soluble, manteniendo las condiciones estéticas (color principalmente), del agua, aceptables, el método de uso de secuestrantes puede considerarse cuando el agua contiene de 0.3 a 1.0 mg/l de Fe y/o 0.05 a 0.1 mg/l de Mn, lo cual no es el caso del agua del pozo Tuiyehualco 5 que cuenta con una concentración promedio de  $\text{Mn} = 0.2136 \text{mg/l}$  por lo tanto este método no es el adecuado para resolver la problemática de este pozo.

### 1.3.2.1 Proceso de remoción de manganeso por cloración.

El proceso de cloración es ampliamente utilizado para la remoción de Fe y Mn, la reacción de oxidación con cloro es más rápida que la oxidación con ozono o aire especialmente bajo presencia de contaminantes orgánicos los cuales pueden interferir con el proceso de oxidación, la reacción produce un microfloc muy disperso el cual deberá ser separado bajo largos tiempos de contacto normalmente entre 30 a 60 min y/o por medio de coagulación / clarificación / filtración. En este proceso la formación de THM (trihalomitanos) puede ser un problema en aguas altamente coloreadas, J.M. Montgomery, consulting Engineers, recomienda que para una oxidación efectiva de Mn el efluente podría contener una concentración de cloro libre residual de 0.13 mg/l.

En el caso particular del agua del pozo Tulyehualco 5 se experimentó el proceso de oxidación con hipoclorito de sodio y filtración en lecho dual arena - antracita en la planta piloto Santa María Azteca, obteniéndose eficiencias de remoción elevadas, los resultados están registrados en las tablas 1.4-I y 1.4-II-III.

## 1.4 Antecedentes experimentales

Con el propósito de obtener la información necesaria para el diseño de procesos para la remoción de los contaminantes presentes en el agua del pozo Tulyehualco 5, se han llevado a cabo pruebas experimentales en diferentes pozos de la zona en la cual se encuentra el pozo en cuestión. Así, para determinar el proceso de remoción de manganeso con una confiabilidad razonable, los pozos en los que se ha llevado a cabo la experimentación son: Santa Catarina 11, Tulyehualco 4, el tren de tratamiento que fue experimentado es el de Oxidación con NaOCl, filtración en lecho de arena - antracita, adsorción en carbón activado y desinfección.

La calidad de agua obtenida en las pruebas piloto ha demostrado la eficiencia del proceso, en la tabla 1.4-I se presentan los datos correspondientes a los cálculos de las eficiencias de remoción de manganeso obtenidas con este tren de tratamiento en el pozo Santa Catarina 11, los cuales llegaron a ser del 95 %.

Las corridas experimentales correspondieron a las ordenes de trabajo No. 1,2,3,4,6,7,8,9,10 y 11.



Tabla 1.4-1  
Eficiencias de remoción Pozo Santa Catarina 11

Orden de Trabajo		Infl	Eff	%Rem.
Orden de Trabajo 001				
Manganeso soluble	mg/l	0.406	0.018	95.567
Manganeso total	mg/l	0.412	0.018	95.631
Orden de Trabajo 002				
Manganeso soluble	mg/l	0.346	0.018	94.798
Manganeso total	mg/l	0.346	0.018	94.798
Orden de Trabajo 003				
Manganeso soluble	mg/l	0.356	0.018	94.944
Manganeso total	mg/l	0.356	0.018	94.944
Orden de Trabajo 004				
Manganeso soluble	mg/l	0.365	0.018	95.068
Manganeso total	mg/l	0.349	0.018	94.842
Orden de Trabajo 006				
Manganeso soluble	mg/l	0.362	0.018	95.028
Manganeso total	mg/l	0.362	0.018	95.028
Orden de Trabajo 007				
Manganeso soluble	mg/l	0.382	0.018	95.288
Manganeso total	mg/l	0.3362	0.018	94.646
Orden de Trabajo 008		Infl	Eff	%REM.
Manganeso soluble	mg/l	0.307	0.018	94.137
Manganeso total	mg/l	0.307	0.018	94.137
Orden de Trabajo 009				
Manganeso soluble	mg/l	0.385	0.018	95.325
Manganeso total	mg/l	0.385	0.018	95.325
Orden de Trabajo 010				
Manganeso soluble	mg/l	0.365	0.018	95.068
Manganeso total	mg/l	0.3742	0.018	95.19
Orden de Trabajo 011				
Manganeso soluble	mg/l	0.327	0.018	94.495
Manganeso total	mg/l	0.345	0.018	94.783

Nota: La orden de trabajo No. 5 fue una prueba errónea.

#### 1.4.1. Resultados experimentales de planta piloto.

La experimentación de los procesos para la remoción de Manganeso en el agua, se llevó a cabo bajo el esquema de carácter físico-químico. Cabe mencionar que no todos los ensayos corresponden a la evaluación total del proceso, ya que la experimentación se dividió por etapas, con el fin de hallar las condiciones de operación apropiadas para cada operación ó proceso unitario involucrado en el tren de tratamiento, así la descripción de las etapas es como sigue:

Etapa	Proceso y operaciones unitarias estudiadas
1	Oxidación (NaOCl) + Polímero + Filtración
2	Oxidación (NaOCl) + Filtración
3	Oxidación (NaOCl) + Filtración + Desinfección

La calidad de agua obtenida en las 10 pruebas piloto demostró que la mejor alternativa para la remoción de manganeso fue lograda con el proceso de oxidación Química con hipoclorito de sodio y posterior filtración en lecho granular, en la tabla 1.4.1-1 se presenta el cálculo de las eficiencias de remoción de manganeso las cuales llegaron a ser tan altas como 95%, las corridas experimentales correspondieron a las órdenes de

trabajo No. 07 - 11. Las condiciones de operación del proceso de oxidación para estas pruebas fueron las que se reportan en la tabla 1.4.1-I.

Tabla 1.4.1-I  
Condiciones de experimentación de la oxidación

Orden de trabajo	07	08	09	10	11
Oxidante	NaOCl	NaOCl	NaOCl	NaOCl	NaOCl
Dosis, mg/l	6	6	6	6	3
Cloro libre residual, mg/l	1	0.8	0.6	0.76	0.20

Las condiciones de experimentación del proceso de filtración para las ordenes de trabajo antes mencionadas fueron:

Tabla 1.4.1-II  
Condiciones de experimentación de Filtración

Orden de trabajo	07	08	09	10	11
Tasa de filtración, litros/min-m <sup>2</sup>	276.08	276.08	276.08	276.08	276.08
Tasa de retrolavado, litros/min-m <sup>2</sup>	1055	1055	1055	1055	1055
Tamaño de arena, mm	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Tamaño de antracita, mm	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Altura de arena, cm	20	20	20	20	20
Altura de antracita, cm	40	40	40	40	40
Diámetro de gravilla, mm	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
Altura de gravilla, cm	20	20	20	20	20
C.U. arena	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
C.U. Antracita	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74

La tabla 1.4.1-III presenta los resultados promediados obtenidos para tres parámetros clave (pH, color y turbidez) los cuales permitirán evaluar la capacidad del proceso de oxidación - filtración - adsorción para cumplir con la calidad desde el punto de vista estético y organoléptico.

Tabla 1.4.1-III  
Resultados del tren experimental

Orden de trabajo	Parámetro	Influente	Oxidación	Filtración	Norma
07	pH	8.4	8.4	8.4	6.5-8.5
	Color	10	22.5	2.62	20
	Turbidez	0.65	2.12	0.37	5
08	pH	8.2	8.2	8.2	6.5-8.5
	Color	11.25	27.5	2.5	20
	Turbidez	0.82	1.36	0.317	5
09	pH	8	8	8	6.5-8.5
	Color	10.62	18.75	8.12	20
	Turbidez	0.55	1.10	0.34	5
10	pH	8.2	8.22	8.27	6.5-8.5
	Color	9.37	42.5	3.12	20
	Turbidez	0.52	2.42	0.317	5
11	pH	8.17	8.1	8.1	6.5-8.5
	Color	10.62	27.5	2.5	20
	Turbidez	0.81	2.22	0.206	5

De los datos de la tabla anterior se puede concluir que el agua presenta estabilidad en el pH influente y pH efluente, sin embargo existe un considerable incremento en el color del agua efluente de la operación de oxidación con respecto al agua influente, esto indica que efectivamente se está llevando a cabo la reacción de oxidación la cual produce un incremento de la cantidad de sólidos suspendidos y por consiguiente también se incrementa el color. Pero no obstante lo anterior la operación de filtración esta propuesta para remover este incremento del color a valores entre 2.5 a 8.12 UPt – Co, muy por debajo del valor exigido por la norma.

Por lo que respecta a la turbidez, el proceso de filtración produce un efluente con menos de 0.5 NTU lo cual también está muy por debajo del valor establecido por la norma (5.0 NTU).

Los resultados experimentales de las órdenes de trabajo No. 09, 10, para la evaluación del proceso de filtración en lecho granular desde el punto de vista hidráulico son presentados en la tabla 1.4.1-IV y sus respectivas gráficas, figuras 1.4.1-I y 1.4.1-II, de las cuales se puede observar que la duración de las corridas fue de 64 y 56 horas respectivamente.

Otro aspecto importante con relación a la hidráulica de la filtración fueron las condiciones de retrolavado experimentadas en las ordenes de trabajo No. 09 y 10, las cuales se presentan en la tabla 1.4.1-III.

En la tabla 1.4.1-V se presenta el análisis granulométrico de la arena utilizada en el filtro piloto, y en la figura 1.4.1-III se muestra la gráfica correspondiente a este análisis.

Tabla 1.4.1-IV

Resultados experimentales del proceso de filtración  
 Orden de trabajo No. 009                      Orden de trabajo No. 010  
 CHS: 276.08 l/m<sup>2</sup>-min.                      CHS: 276.08 l/m<sup>2</sup>-min.

Tiempo (hr)	Pérdida de carga, (cm)	Turbiedad, (UTN)		Tiempo (hr)	Pérdida de carga, (cm)	Turbiedad, (UTN)	
		Influyente	Efluente			Influyente	Efluente
1	4.4	1.6	0.8	1	18	1.2	0.8
3	4.5	1.6	0.9	3	19.5	1.25	0.8
6	8.3	1.5	0.5	5	19.1	1.3	1
8	5.8	1.7	0.5	7	20.2	1.9	0.75
10	6.4	1.6	0.5	9	20.6	1.2	1
12	6	1.7	0.5	11	21.3	1.3	0.9
15	7.6	1.5	0.5	13	22.4	1.2	0.8
17	7.8	1.6	0.7	15	23.3	1.5	0.6
19	9.8	1.4	0.7	17	23.6	1.2	0.7
21	10.8	1.4	0.45	19	24	1.25	0.6
23	11.4	1.9	0.8	21	25.1	1.3	0.7
25	16.1	1.4	0.6	23	25.9	1.3	0.7
27	17.6	1	0.6	25	27.6	1.3	0.7
30	21.2	1.5	0.5	27	31.5	1.2	0.7
32	23.8	1.4	0.5	30	35.3	1.2	0.5
34	25.3	1.5	0.6	32	39	1.2	0.6
36	28.4	1.7	0.6	34	45.6	1.4	0.6
39	35.8	1.6	0.55	36	51.4	1.3	0.5
41	39.9	1.4	0.6	39	58	1.4	0.6
43	45.3	1.4	0.5	41	66.1	1.3	0.65
45	52.2	1.2	0.5	43	76.2	1.3	0.65
47	60.2	1.3	0.7	45	80.5	1.5	0.6
49	70	1.3	0.9	47	105	1.3	0.5
51	81	1	0.5	49	121	1.2	0.5
54	92.2	1.4	0.5	51	149	1	0.5
56	107.2	0.5	0.5	53	164	1.9	0.4
58	122.4	1.5	0.5	54	178	1.9	0.6
60	134.1	1.3	0.4	55	191	2.8	0.4
64	164.5		0.55				

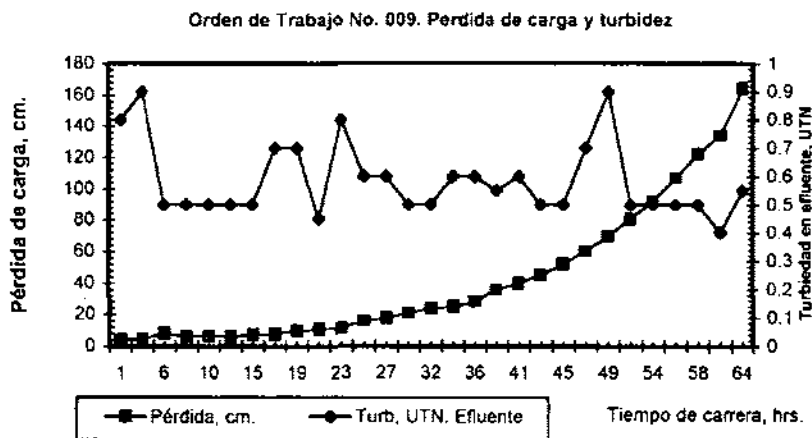


Figura 1.4.1-I.- Corrida de filtración, orden de trabajo 09

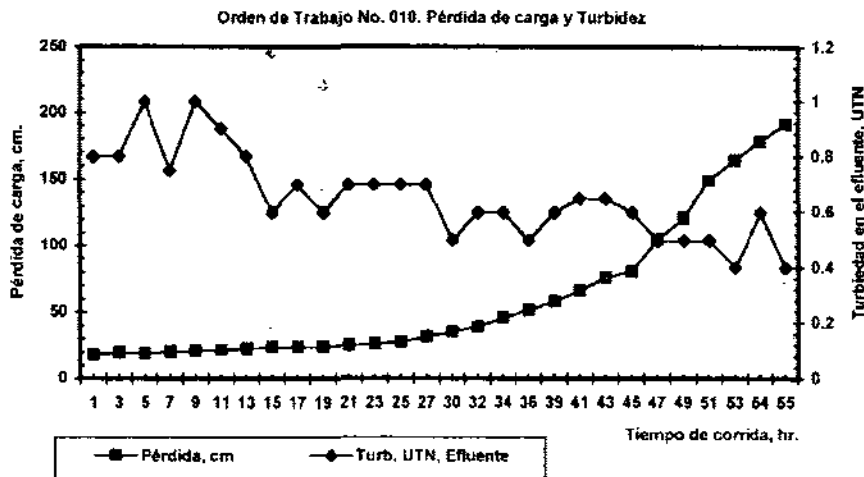


Figura 1.4.1-II.- Corrida de filtración, orden de trabajo 010

Tabla 1.4.1-V de Granulometría

Sitio: Santa María

Material: Arena sílica

Fecha de análisis: 6 / octubre / 97

No.	Tamiz		Material		
	Abertura.(mm)	Ret.(gr)	Acumulado(gr.)	Pasa Ac.(gr)	Pasa Ac. (%)
14	1.400	2.85	2.850	497.150	99.43
20	0.850	34.40	37.250	462.750	92.55
30	0.590	431.60	468.850	31.150	6.23
35	0.500	8.00	476.850	23.150	4.63
40	0.425	18.95	495.800	4.200	0.84
Charola		4.20	500.000	0.000	0.00
	<b>TOTAL</b>	<b>500.00</b>			

**Características de la muestra**

Diám. efectivo al 10% (D10) = 0.60 mm

Diám. efectivo al 30% (D30) = 0.66 mm

Diám. efectivo al 60% (D60) = 0.74 mm

Coef. de Uniformidad.=1.233

Coef. de Curvatura = 0.978

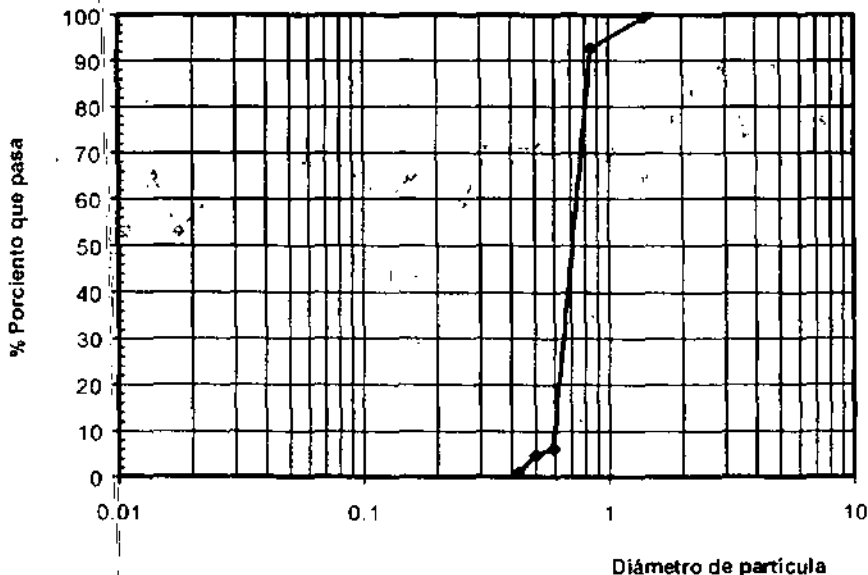


Figura 1.4.1-III.- Granulometría de la arena utilizada en el proceso de filtración.

### 1.5 Parámetros básicos de diseño

Nombre del Proyecto:	Planta Potabilizadora Tulyehualco 5.
Localización:	Calles: Av. Div del Norte y Manuel A. Camacho, Barrio Santa María de los Olivos México D.F.
Superficie:	m <sup>3</sup> .
Objetivo de la planta:	

El objetivo del tratamiento es remover Mn, ya que la presencia de este contaminante es típica en las aguas subterráneas provocando un efecto antiestético, por lo tanto la planta deberá remover este contaminante y mejorar el aspecto organoléptico del agua suministrada a la población.

#### Información general del pozo:

Profundidad total:	77 metros
Nivel estático:	22.6 metros
Nivel dinámico:	22.66 m
Profundidad del punto succión de bomba:	metros
Caudal máximo de extracción:	56.1 litros/segundo
Caudal de diseño:	56.1 litros/segundo
Caudal promedio de operación:	51 litros/segundo
Temperatura del agua del pozo (°C)	19

#### Datos Climáticos fundamentales:

Temperatura máxima extrema:	33 °C.
Temperatura mínima extrema:	5 °C.
Temperatura promedio anual:	30°C.
Temperatura de bulbo seco en verano:	30°C.
Temperatura de bulbo seco en invierno:	4°C.
Temperatura de bulbo húmedo de diseño:	16.5°C.
Altura sobre el nivel del mar:	2,243.23 m.
Presión barométrica:	585 mm Hg.

Capacidad de la planta:	Flujo instantáneo normal, 51 l/seg.
	Flujo instantáneo de diseño 56.1 l/seg.

#### 1.5.1 Principales sistemas y componentes del proceso

La planta potabilizadora de agua de pozo utilizará un proceso de oxidación con hipoclorito de sodio y posterior filtración a presión en lecho dual de arena sílica y antracita, soportados por gravilla, seguido del proceso de adsorción con carbón activado granular y finalmente desinfección con hipoclorito de sodio.

**Instalaciones a incluir:**

Bombeo de agua de pozo a los filtros de arena sílica y antracita, sistema dosificador de hipoclorito de sodio (tanque dosificador, bombas dosificadoras, tee de mezclado y mezclador estático) tanto para la etapa de oxidación (cloración al punto de quiebre) como para la desinfección del efluente final, filtros a presión de lecho dual de arena sílica y antracita, torres de adsorción en carbón activado, tanque de desinfección, bomba de agua de retrolavado, bomba de agua de distribución a red municipal, sistema de muestreo de cloro residual e instrumentación.

**1.5.2 Filosofía de diseño**

**Filosofía de operación de la planta:**

- ❖ Operación continua, 7 días a la semana con tres turnos de 8 horas diarias.
- ❖ Trabajos de mantenimiento, a las operaciones unitarias, 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 filtros y torres de adsorción.

**Filosofía de equipo en relevo:**

Se consideran arreglos electromecánicos 1+1, excepto en la bomba de pozo y dosificadores de reactivo. En caso de falla de energía eléctrica, la planta potabilizadora Tulyehualco 5 deberá parar, no se contempla planta de emergencia.

La capacidad del equipo principal en relevo será como sigue:

Estaciones de bombeo	100% instalado y refacciones en almacén.
Filtros duales Antracita - Arena	100% instalado y material de reposición en almacén.
Torres de adsorción en carbón activado	100% instalado y material de reposición en almacén.
Dosificación de cloro	100% instalado y refacciones en almacén.
Sistema de bombas centrifugas verticales	100% instalado y refacciones en almacén.
Agitadores	100% instalado y reposición en almacén.

**Capacidad y ampliación a futuro:**

No se contemplan ampliaciones ni aumento de capacidad a futuro, debido principalmente a las limitaciones de espacio y a la capacidad limitada de aforo del pozo.

**Filosofía de instrumentación y control de procesos**

Se deberá implementar instrumentación electrónica de estado sólido con indicadores locales, todas las señales de indicadores, registradores y totalizadores por variables físicas (flujo, presión, nivel, temperatura), no se contempla instalación de PLC.

**Control de procesos**

Para el proceso de Oxidación con hipoclorito de sodio se instalara un control automático con supervisión a través de displays digitales, con todos los controles y supervisión montados localmente para el análisis de cloro libre.



### 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. Los motores de dosificadores deberán parar y/o arrancar con botoneras locales.

#### 1.5.3 Criterios de diseño

El sistema deberá ser dimensionado basándose en los siguientes Criterios:

Factor de sobre diseño (sobre la capacidad hidráulica)	1.1
Factor de planta (8760 horas/año)	1.0
Presión del agua influente, (kg./cm <sup>2</sup> m)	1.2
Temperatura del agua influente (°C)	20
Presión requerida del agua efluente (kg./cm <sup>2</sup> m)	< 1.2
Instalación interior/externor	Exterior
Temperatura del aire atmosférico, (°C)	Min=-1; Max=32
Velocidad de viento, (km./h)	185
Zona sísmica	II (DDF- México)
Punto de rocío del aire de instrumentos, (°C)	- 40
Voltaje disponible para motores (1/2 - 200 HP)	440V/3f/60hz
Voltaje disponible para motores (< 1/2 HP)	120V / 1f /60hz
Rating NEMA del sistema, (NEMA)	4
Rating NEMA de panel (mínimo), (NEMA)	4
Sistema de recubrimiento anticorrosivo	por especificaciones
Carcasa de motores	TCCV

#### Criterios de diseño para filtración:

- ❖ Tipo de filtro: Convencional a presión, rápido en flujo descendente, (Arena-Antracita).
- ❖ Carga Hidráulica Superficial de filtración: 381.34 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> día.
- ❖ Carga Hidráulica Superficial de retrolavado: 1525 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup> día.
- ❖ Caída máxima de presión a filtro limpio: 0.1443 m.c.a.
- ❖ Caída máxima de presión con filtro sucio: 0.650 m.c.a.

Tabla 1.5.1-II  
Velocidades de flujo típicas de filtros

Tubería de filtro	Velocidad (ft/s)	Velocidad (m/s)
Influente con agua cruda	3 a 6	0.91 a 1.83
Influente con agua floculada	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

Tabla 1.5.1-III  
Intervalo de velocidades para diseño hidráulico

Tubería de filtro	Velocidad (ft/s)	Velocidad (m/s)
Bombeo de agua	3 a 10	1 a 3
Flujo por gravedad	2 a 6	0.3 a 1
Bombeo de agua de servicios	3 a 6	1 a 3

**Dosificación de químicos:**

- ❖ Volumen máximo de dosificación para: 1 a 5 días.
- ❖ Volumen máximo de almacenamiento: 1000 litros.
- ❖ Concentración de solución de hipoclorito de sodio: Máx. 12.5%.

**Criterios de diseño eléctrico:**

Clasificación de área peligrosa	No peligrosa clasificada por NEC y/o NFPA para servicios generales.
Voltaje disponible para motores (1/2 - 200 HP)	220/ 440V/3f / 60hz
Voltaje disponible para motores (< 1/2 HP)	120V / 1f /60hz
Rating NEMA del sistema (NEMA)	4
Rating NEMA de panel (mínimo) (NEMA)	4
Sistema de recubrimiento anticorrosivo	por especificaciones
Carcasa de motores	TCCV

**Criterios generales para selección válvulas:**

El tipo de válvulas dependerá de la función que debe efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso.

**Selección de válvulas**

Función y servicio de las válvulas	Tipo de válvula
Descarga de bombas:	Combinación: de retención / compuerta.
Alimentación y salida de torres de adsorción:	De compuerta.
Servicios generales de la planta:	De globo.

**1.5.4 Códigos, estándares y prácticas recomendadas**

Bombas	Hidraulic Institute Standards (HIS)
Motores Eléctricos	National Electrical Manufacturers Associatio(NEMA)
Materiales de Construcción	American Society for Testing and Materials (ASTM)
Tuberías y válvulas	American National Standars Institute (ANSI)
Obra civil y bacines	American Concrete Institute (ACI) American Iron and Steel Institute (AISI) Reglamento de Construcción del DDF.
Instrumentación	Instrument Society of America (ISA)
Filtración	American Watrer Works Association (AWWA)
Medio Filtrante	El medio filtrante deberá ser arena sílica gruesa y antracita 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

**Idioma usado en documentos:**

Español /Inglés para documentos que involucren equipo de importación.

**Sistema de unidades a ser usados en cálculos de diseño de proceso**

Sistema métrico decimal con conversión al sistema inglés (U.S Customary System), cuando sea requerido.

Con la finalidad de soportar técnicamente el diseño de la planta y con base en los estudios previos referidos anteriormente, a continuación se presenta el desarrollo conceptual y matemático de cada uno de los procesos u operaciones unitarias que integran el tren de proceso para potabilizar el agua del pozo Tulyehualco 5.

***CAPITULO 2***

***MEMORIA DE CALCULO DE LOS PROCESOS Y  
OPERACIONES UNITARIAS***

**2.1**

**CLORACIÓN AL PUNTO DE QUIEBRE**

## 2.1 Cloración al punto de quiebre

### 2.1.1 Introducción

#### Antecedentes experimentales

Para identificar los fenómenos físicos y químicos que gobiernan la remoción del manganeso por cloración al punto de quiebre y poder realizar el diseño de las operaciones unitarias que conforman el proceso de potabilización, se consultó la bibliografía especializada en éste campo y se realizaron pruebas de caracterización y de tratabilidad con el tren de procesos antes mencionado, así mismo, se llevaron a cabo trabajos de simulación en la planta piloto de potabilización "Santa María Aztahuacan".

En ésta etapa se evaluó la influencia que tiene el sistema de mezclado y el tiempo de contacto entre el cloro a dosis fija (2 mg/l) y el agua cruda en la eficiencia total del proceso. De este modo se obtuvieron reducciones de manganeso con eficiencias de alrededor del 90 - 95%, con lo cual se consigue que éste parámetro permanezca por debajo del límite sancionado (0.15 mg/l para manganeso).

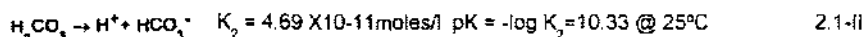
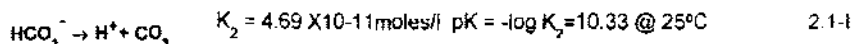
En términos generales se observó que éste proceso, bajo ciertas condiciones de operación, es altamente eficiente.

El siguiente análisis muestra como se comporta la concentración del Manganeso en función de la solubilidad y del pH.

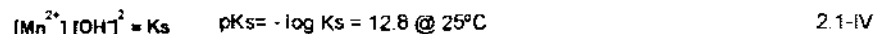
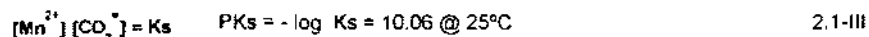
### 2.1-2 Química del manganeso.

La solubilidad del Mn depende del pH y la alcalinidad (contenido de bicarbonatos) del agua, las relaciones matemáticas que gobiernan la solubilidad del Mn son las siguientes:

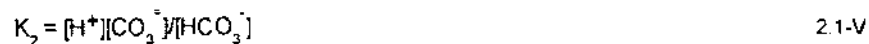
La disociación del ácido carbónico y el equilibrio de carbonatos esta dado por:



Igualmente el producto de solubilidad del carbonato de manganeso e hidróxido de manganeso esta representado por:



De tal forma que dividiendo las ecuaciones que definen  $K_2$  y  $K_s$  obtenemos:



$$K_s / K_2 = [\text{Mn}^{2+}] [\text{HCO}_3^-] / [\text{H}^+] \quad 2.1\text{-VII}$$

$$[\text{Mn}^{2+}] = \{ K_s / K_2 \} [\text{H}^+] / [\text{HCO}_3^-] \quad 2.1\text{-VIII}$$

De datos bibliográficos se sabe que la presencia de bicarbonatos es posible a valores de pH < 8.5 y es aproximadamente igual a la alcalinidad total (M), por lo tanto:

$$[\text{HCO}_3^-] = \{ M - K_w / [\text{H}^+] + [\text{H}^+] \} / \{ 1 + 2K_2 / [\text{H}^+] \} \quad 2.1\text{-IX}$$

Finalmente la concentración del Mn en solución está definida por:

$$[\text{Mn}^{2+}] = \{ K_s / K_2 \} [\text{H}^+] / \{ M - K_w / [\text{H}^+] + [\text{H}^+] \} / \{ 1 + 2K_2 / [\text{H}^+] \} @ \text{pH} < 8.5 \quad 2.1\text{-X}$$

Para pH > 8.5, la solubilidad del Mn está gobernada por el producto de solubilidad del Mn (OH)<sub>2</sub> de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$[\text{Mn}^{2+}] = K_s / [\text{OH}^-]^2 \quad \text{pks} = -\log K_s = 12.8 @ \text{pH} > 8.5 \quad 2.1\text{-XI}$$

Con base en lo anterior, se hace el análisis para el agua del pozo en cuestión, a partir de los siguientes datos analíticos:

- ❖ pH = 7.89
- ❖ Valor máximo = 8.5
- ❖ Valor mínimo = 7.4
- ❖  $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-7.89} = 1.288 \times 10^{-8}$  moles/l @ 25°C 2.1-XII
- ❖ Alcalinidad total, M = 133 mg/l CaCO<sub>3</sub>
- ❖ equiv/l = M / (50 X 1000) = 133 / (50 X 1000) = 2.63 X 10<sup>-3</sup>

En la tabla 2.1.2 -I se resumen los resultados de los cálculos realizados para determinar la concentración de Mn soluble en el agua del pozo Tulyehualco 5 @ 25 °C para diferentes valores de pH.

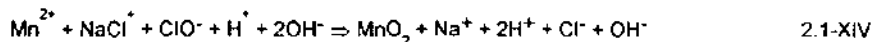
Datos de las constantes:

Temperatura:	25°C
pks = 10.6:	ks = 8.7096 x <sup>-11</sup>
pk <sub>2</sub> = 10.33:	k <sub>2</sub> = 4.677 x <sup>-11</sup>
pkw = 14:	kw = 1.0000 x <sup>-14</sup>
	133 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Alcalinidad:	2.63 x 10 <sup>-3</sup> equiv/l
Peso molecular:	54.938

Tabla 2.1.2-1  
Manganeso soluble en equilibrio.

pH	[H <sup>+</sup> ], mol/lit.	[Mn <sup>2+</sup> ], mol/lit.	[Mn <sup>2+</sup> ], mg/lit.
7.0	1.0000x10 <sup>-7</sup>	5.4532x10 <sup>-5</sup>	2.9959
7.1	7.9433x10 <sup>-8</sup>	4.3327x10 <sup>-5</sup>	2.3803
7.2	6.3096x10 <sup>-8</sup>	3.4426x10 <sup>-5</sup>	1.8913
7.3	5.0119x10 <sup>-8</sup>	2.7356x10 <sup>-5</sup>	1.5029
7.4	3.9811x10 <sup>-8</sup>	2.1740x10 <sup>-5</sup>	1.1944
7.5	3.1623x10 <sup>-8</sup>	1.7279x10 <sup>-5</sup>	0.9493
7.6	2.5118x10 <sup>-8</sup>	1.3736x10 <sup>-5</sup>	0.7546
7.7	1.9953x10 <sup>-8</sup>	1.0921x10 <sup>-5</sup>	0.6000
7.8	1.5849x10 <sup>-8</sup>	8.6857x10 <sup>-6</sup>	0.4771
7.8528	1.4034x10 <sup>-8</sup>	7.6972x10 <sup>-6</sup>	0.4229
7.9	1.2589x10 <sup>-8</sup>	6.9097x10 <sup>-6</sup>	0.3796
8.0	1.0000x10 <sup>-8</sup>	5.4991x10 <sup>-6</sup>	0.3021
8.1	7.9433x10 <sup>-9</sup>	4.3786x10 <sup>-6</sup>	0.2405
8.2	6.3096x10 <sup>-9</sup>	3.4685x10 <sup>-6</sup>	0.1916
8.3	5.0119x10 <sup>-9</sup>	2.7815x10 <sup>-6</sup>	0.1528
8.4	3.9811x10 <sup>-9</sup>	2.2199x10 <sup>-6</sup>	0.1219
8.5	3.1623x10 <sup>-9</sup>	1.7738x10 <sup>-6</sup>	0.0975

A partir de la tabla anterior se deduce que la oxidación de Mn<sup>2+</sup> a MnO<sub>2</sub> es posible en presencia de una adecuada dosis de cloro de para propiciar la siguiente reacción química:



### 2.1.3 Marco Teórico

#### Mezcladores Estáticos para el agua y el tratamiento de agua

En el Campo del tratamiento de agua, la mezcla y el contacto son operaciones básicas importantes que tienen una influencia fundamental en el funcionamiento de las etapas individuales del proceso o incluso en el comportamiento del proceso global.

La cada vez mayor demanda de calidad de agua llama a continuas mejoras en los procesos de limpieza. Esto ha supuesto un marcado incremento del uso generalizado, en este sector, de los mezcladores estáticos en línea para las operaciones de mezcla y contacto.

**Función:** Los mezcladores estáticos para las operaciones de mezcla y contacto se instalan en línea con la corriente del proceso. La tubería asociada o conducto puede tener forma circular, cuadrada o rectangular. Un mezclador estático consiste básicamente en



una serie de láminas guía, estacionarias, que da como resultado la mezcla sistemática y radial del flujo de los medios que circulan a través de la tubería. La trayectoria del flujo sigue un patrón geométrico, evitando así cualquier mezcla aleatoria. La operación de la mezcla se completa por consiguiente en una distancia de flujo muy corta.

La formación de finas burbujas de gas en una mezcla de agua / gas promueve un contacto intensivo entre las dos fases, el resultado es una mayor transferencia de masa. En contraste con los tanques agitadores o sistemas de tubería vacía, los mezcladores estáticos aseguran que la totalidad de la corriente del fluido este sujeta a una compulsiva o efectiva mezcla o contacto.

La energía requerida para la mezcla o para la transferencia de masa se toma de la propia corriente principal, que se manifiesta por una pequeña caída de presión ligeramente superior a la un sistema de tubería vacía. Este valor depende del diseño del mezclador y de las condiciones de operación relacionadas, y esta generalmente entre 0.02 – 3 mca. (metros columna de agua, 1 mca = 0.1 kg/cm<sup>2</sup>).

En comparación con los sistemas dinámicos, con agitador, el requerimiento de energía de los mezcladores estáticos es menor al menos en un orden de magnitud. Además la energía se disipa uniformemente a través de todo el volumen del mezclador.

#### Ventajas

- ❖ La longitud entre bridas de un mezclador es corta (1 – 5 diámetros de tubería) y consecuentemente, el requerimiento de espacio es pequeño. El diámetro nominal del mezclador es como norma el mismo que el de la tubería a la que se conecta
- ❖ El efecto de la mezcla se mantiene constante incluso en cambios de las condiciones de operación.
- ❖ Toda la corriente del proceso es objeto de una mezcla efectiva.
- ❖ Los valores medidos son representativos. Esto es el resultado de la concentración continua, distribuida uniformemente a través de la sección transversal completa del flujo.
- ❖ La operación en continuo significa condiciones estables.

#### Aplicaciones

El rango de aplicaciones potenciales en agua es amplio, algunas de ellas son:

- ❖ Floculación.
- ❖ Dilución de floculantes en línea.
- ❖ Mezcla de floculantes en lodo antes del secado.
- ❖ Control de pH o neutralización.
- ❖ Mezcla de desinfectante.
- ❖ Desacidificación con una solución de sosa cáustica.

Para este caso en particular se utilizara un mezclador estático en línea tipo SMVL, (ver catalogo de selección de equipo en el anexo) para llevar a cabo la oxidación del Manganeso mediante la inyección de una solución de hipoclorito de sodio a una dosis constante de 2 mg/l. Al final de este capítulo se presenta el típico de proceso.

### 2.1.4 Generalidades

#### Propiedades del NaOCl

El hipoclorito de sodio puede obtenerse comercialmente a una concentración comercial 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), no expuesto a la luz o al calor solar, es muy irritante a las membranas mucosas expuestas del ser humano, el siguiente cuadro presenta la estabilidad como función del tiempo de vida media de las diferentes soluciones de NaOCl:

Tabla 2.1-4-I  
Estabilidad de hipoclorito de sodio

Cloro disponible %	Cloro equivalente g/l	Vida media, (días@ 25°C)
3	30	1700
6	60	700
9	90	250
12	120	180
15	150	100
18	180	60

El hipoclorito de sodio comercial se puede obtener en tambos con recubrimiento interno de hule de 50 gal. y camiones pipa, sin embargo los costos del hipoclorito transportado puede ser tanto como 2.7 veces el costo del cloro en contenedores de una tonelada, lo cual puede hacer atractiva la producción del hipoclorito de sodio en el sitio de la planta.

Tabla 2.1- 4-II  
Propiedades físicas del hipoclorito de sodio

Propiedad	Grado hogar	Grado hogar	Grado Industrial
Cloro disponible (%volumen)	5	12.5	15
Densidad, lb/gal.	9.0	9.9	10.05
Punto de cristalización, °F	24.8	1.4	-1.4
Gravedad específica, 20°C	1.075	1.185	1.205
Viscosidad, Saybolt seg. 75°F	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	1.0	2.5	4 a 15
Carbonatos libres, g/l (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.5	1.5	2.5
Hierro como Fe <sup>3+</sup> , mg/l	0.1min-0.5 máx.	0.3min.-1.0máx.	0.5min.-1.0 máx.
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

Propiedades toxicológicas del hipoclorito de sodio (ver Fig. 2.1.4- I).

Descripción.- Cristales blancos inestables.

Contaminación.- comúnmente empleado como agente de blanqueo.

Concentración máx. permisible.- No hay nada establecido.

En el siguiente cuadro se presentan las propiedades toxicológicas del Hipoclorito de sodio.

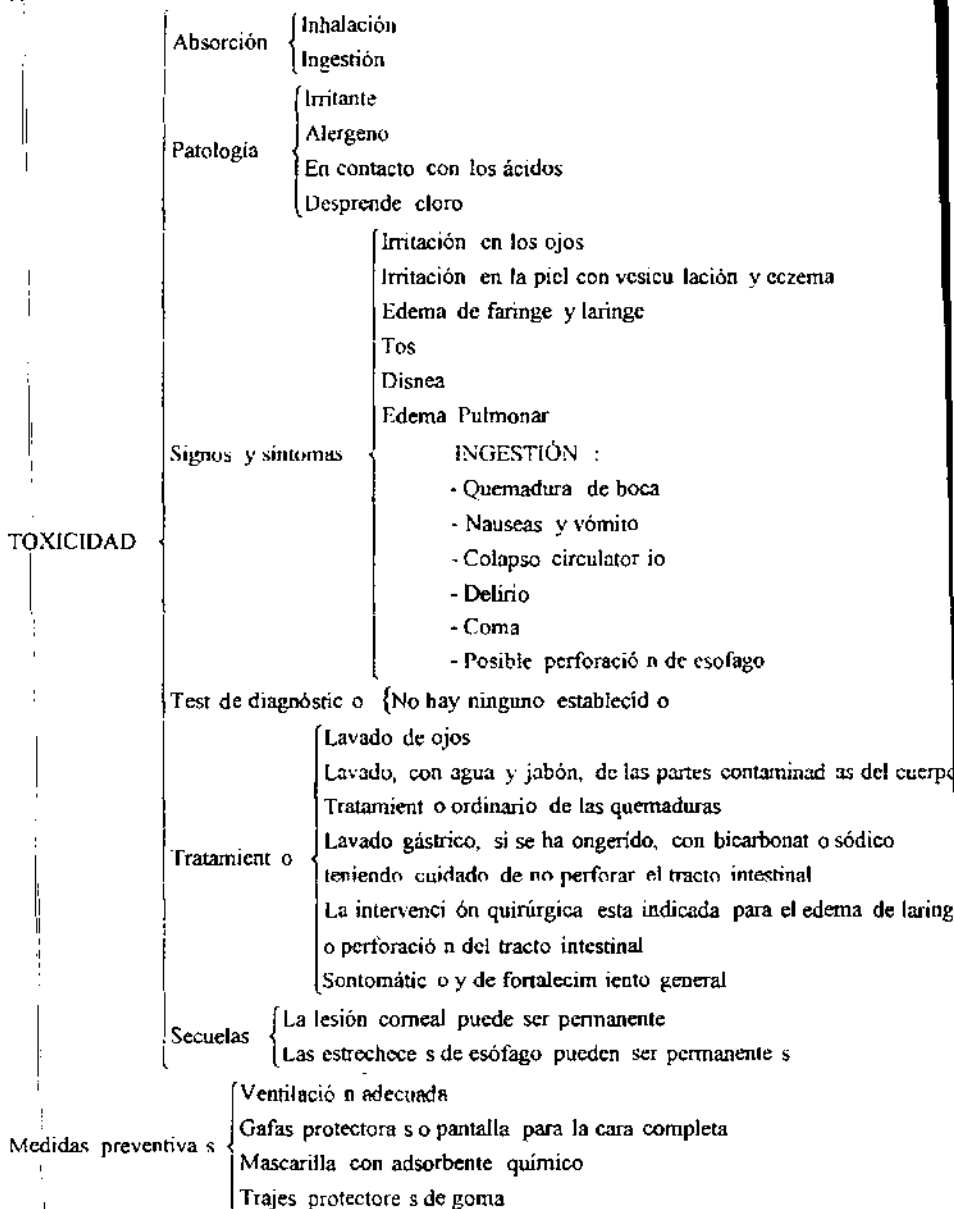


Fig. 2.1.4-1.- Toxicología del hipoclorito de sodio

[Ref. - Plunket - Enciclopedia de Química Industrial, Tomo 12 Manual de Toxicología]

## 2.1.5 Diseño de Proceso

### 2.1.5.1 Bases de diseño

A partir las mejores condiciones operacionales obtenidas durante la etapa de experimentación en la planta piloto y considerando las leyes de similitud que rigen en el procedimiento de escalación de procesos, se proponen las siguientes condiciones básicas de diseño:

#### 2.1.5.2-1 Para el sistema de dosificación de reactivo.

- Se propone que el suministro de reactivo se realice mediante una bomba dosificadora de soluciones.
- El reactivo a utilizar para este proceso será hipoclorito de sodio en solución.
- La concentración del hipoclorito de sodio, a diferencia de la utilizada en la etapa experimental del 2.15 % será del 12.5 %, debido a que a esta concentración los volúmenes de dosificación se reducen considerablemente, disminuyendo consecuentemente el volumen del tanque de almacenamiento y distribución de hipoclorito.
- El régimen de flujo en la tubería, antes del mezclador, será turbulento a través de un Reynolds ( $Re$ ) > 5000.
- Densidad del hipoclorito de sodio = 1.2 kg/l @ 20 °C.
- Densidad del agua = 998 kg/m<sup>3</sup> @ 20 °C.
- El flujo de agua a tratar es de 51 lps. (Q de operación).
- Flujo de agua para el diseño 51\*1.1= 56.1 lps. (Q máximo).
- Temperatura de diseño: intervalo de 15-20 °C.
- El factor de escala entre el proceso en escala total y el modelo experimental será de 112.2:1.
- Utilizando el factor de escala 112.2:1 se utilizaran las mismas formas geométricas de línea de conducción.
- La similitud cinemática se efectuará considerando que la razón de velocidades correspondientes en el modelo experimental y el proceso a escala, debe ser constante en todas sus partes esto es:

$$V_R = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m}}{\frac{L_p}{T_p}} = \frac{L_m}{L_p} \cdot \frac{T_p}{T_m} = \frac{L_m}{L_p} \cdot \frac{1}{T_R} \quad 2.1-XV$$

Donde  $T_R$  es la razón de tiempo entre los tiempos del proceso escalado y el modelo experimental.

### 2.1.5.2-II Para el sistema de mezclado

- En la condición de similitud química se utilizará la misma relación de cloro activo - Manganeseo (considerando el consumo de cloro inmediato que demanda el agua del pozo) ver gráfica de demanda de cloro en el anexo de este documento (fig 2.1-1).
- El sistema de mezclado se efectuará en la línea de proceso mediante un mezclador estático de inserción del tipo flujo pistón.
- La posición del mezclador en la línea de proceso será horizontal.
- Los elementos internos del mezclador serán removibles de polipropileno.
- El tiempo de residencia del agua en el mezclador será menor a 1 s.
- Densidad promedio de la mezcla ( $\rho_m$ ) = 998.04 kg/m<sup>3</sup>.
- Caudal normal de operación total ( $Q_t$ ) = 51 l/s.
- Caudal de diseño ( $Q_D$ ) = 56.1 l/s.
- Temperatura de diseño = 15-20 °C.

### 2.1.5.3 Escalación y dimensionamiento

La línea de proceso a escala total que va al primer mezclador estático tendrá las siguientes dimensiones:

Caudal del proceso, ( $Q_p$ ) = 56.1 l/s = 3.366 m<sup>3</sup>/min = 0.0561 m<sup>3</sup>/s.

Caudal experimental ( $Q_m$ ) = 0.5 l/s = 30 l/min = 0.03 m<sup>3</sup>/min.

Por lo tanto se obtiene la siguiente relación:

$$Q_c = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{3.366 \text{ m}^3 / \text{min}}{0.03 \text{ m}^3 / \text{min}} = 112.2 \quad 2.1\text{-XVI}$$

Velocidad experimental ( $V_m$ ) = 59.2 m/min = 0.987 m/s.

Velocidad escala ( $V_p$ ) = 59.2 = 59.2 m/min = 0.987 m/s.

\* En la escala total, la velocidad debe ser la misma que en la escala experimental; por lo tanto, en la escala debe cumplirse la siguiente relación:

$$V_* = \frac{V_p}{V_m} = \frac{59.2 \text{ m} / \text{min}}{59.2 \text{ m} / \text{min}} = 1 \quad 2.1\text{-XVII}$$

El área de flujo escalado  $A_{fp}$  es:

$$A_{fp} = \frac{Q_p}{V_p} = \frac{0.0561 \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.987 \text{ m} / \text{seg}} = 0.0568 \text{ m}^2 \quad 2.1\text{-XVIII}$$

Selección del diámetro interno del tubo  $D_p$ :

$$D_p = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.0568 \text{ m}^2)}{\pi}} = \quad 2.1\text{-XIX}$$

De donde:

$$D_p = 0.26892 \text{ m} / 0.0254 = 10.5875 \text{ pulg.}$$

Dado que no existe comercialmente un diámetro de estas características y considerando que se requiere mantener un flujo turbulento, se considera un diámetro comercial de 10 pulgadas, ya que con este diámetro de tubería se corrigen la velocidad y el área perpendicular al flujo.

Por lo tanto seleccionando un diámetro interno,  $D_{in} = 10$  pulgadas = 0.254 m, se recalcula para corregir valores; así:

De la ecuación 2.1-XIX:

$$\text{Área de flujo corregida } (A_{fc}) = \frac{\pi D^2}{4} = 0.0506 \text{ m}^2.$$

Igualmente de la ecuación 2.1-XVIII:

$$\text{Velocidad corregida } (V_c) = \frac{0.0561 \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.0506 \text{ m}^2} = 1.108 \text{ m/s.}$$

Por lo tanto:

$$\text{Relación de Velocidad Experimental / prototipo } (V_{ec}) = \frac{0.987}{1.108} = 0.8902.$$

$$\text{Número de Reynolds experimental } (Re_m) = 24523.$$

$$\text{Número de Reynolds escala total } (Re_p) = \frac{D_p V_c \rho_p}{\mu_m} = 272688.50.$$

De esta forma, como el  $Re_p = 272688.5 > 5000$ , entonces se cumple que el flujo del fluido en la tubería en escala total estará dentro de un régimen de flujo turbulento.

Una vez que el agua se mezcle con el hipoclorito de sodio se tendrá una corriente en proceso con las siguientes condiciones hidráulicas en escala total:

$$\text{Caudal de agua } (Q_a) = 56.1 \text{ l/s} = 0.0561 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\text{Dosis de NaClO } (D_R) = 2 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Concentración de NaClO } [\text{NaClO}] = 125,000 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Caudal de NaClO } (Q_R) = \frac{Q_a * D_r}{[\text{NaClO}]} \quad 2.1\text{-XX}$$

$$\text{Por lo tanto } Q_R = \frac{(56.1 \text{ l/seg}) * (2 \text{ mg/l})}{125,000 \text{ mg/l}} = 8.976 \times 10^{-4} \text{ l/s}$$

$$\text{Caudal total } (Q_T) = Q_a + Q_r = 56.1 + 8.976 \times 10^{-4} = 56.1009 \text{ l/s}$$

$$\text{Relación} = \frac{Q_a}{Q_r} = 62500. \quad 2.1\text{-XXI}$$

$$\text{Densidad del agua } (\rho_{H_2O}) = 0.998 \text{ Kg./l.}$$

$$\text{Densidad del NaClO } (\rho_r) = 1.2 \text{ Kg./l.}$$

Para conocer la densidad de la mezcla que entrará en el mezclador estático se lleva a cabo el siguiente balance de masa:

Balance general:

$$\text{Densidad de la mezcla } (\rho_{mez}) = X_{Qa} \rho_{H_2O} + X_{Qr} \rho_r \quad 2.1\text{-XXII}$$

Por lo tanto:

$$X_{Qa} = \frac{Q_a}{Q_T} \quad 2.1\text{-XXIII}$$

$$X_{Qr} = \frac{Q_r}{Q_T} \quad 2.1\text{-XXIV}$$

Sustituyendo valores:

$$X_{Qa} = \frac{(56.1 \text{ l / seg})}{56.1009 \text{ l / seg}} = 0.999984; \quad X_{Qr} = \frac{(8.976 \times 10^{-4} \text{ l / seg})}{56.1009 \text{ l / seg}} = 1.59997 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{mezcla} = 0.9999(0.998 \text{ Kg/l}) + 8.976 \times 10^{-4}(1.2 \text{ Kg/l}) \\ = 0.9980 \text{ Kg/l} = 998.0 \text{ Kg/m}^3$$

Puesto que existe un suministro de reactivo, entonces debe existir una velocidad después del punto de inyección del hipoclorito de sodio a la cual denominaremos velocidad  $v_2$ .

Por lo tanto, aplicando las ecuaciones respectivas, vistas anteriormente, tenemos lo siguiente:

$$v_2 = \frac{Q_T}{A_{jc}}$$

$$v_2 = \frac{(0.0561009 \text{ m}^3 / \text{seg})}{(0.0506 \text{ m}^2)} = 1.1087 \text{ m/s.}$$

$$\text{Número de Reynolds } (Re_2) = \frac{v_2 * D_P * \rho_{mez}}{\mu} = 272860.75$$

$$Re_2 = 272860.75$$

Como se puede observar el  $Re_2 = 272860.75 > 5000$ , se confirma entonces que el flujo del fluido en la tubería en escala total continuará en régimen de flujo turbulento.

Por lo anterior se puede decir que de acuerdo con los cálculos generados, las condiciones del caudal de agua en cuanto a velocidad, turbulencia y densidad se

mantienen prácticamente igual al momento de la inyección del hipoclorito de sodio y al final de la operación de cloración.

Por lo tanto las condiciones dinámicas de flujo pistón en la operación de cloración son las siguientes:

$$Q_t = 56.1009 \text{ l/seg} = 0.0561009 \text{ m}^3/\text{seg} = 3.366054 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$\rho_{\text{mez}} = 0.9964 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Gradiente de Velocidad (G)} = 22368 \text{ s}^{-1} \text{ (experimental).}$$

$$\text{Viscosidad Dinámica } (\mu) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg / (m.s)(N s/m}^2) \text{ @ } 20 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\text{Peso Especifico, } (\gamma) = 9.8 \text{ KN/m}^3.$$

$$\text{Diámetro de la tubería, } \varnothing = 10 \text{ pulgadas} = 0.254 \text{ m.}$$

Tipo de mezclador: flujo pistón.

El mezclador se instalará en la línea, por lo tanto:

$$\text{Area de flujo del mezclador } A_{tm} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{tm} = \frac{\pi * (0.254 \text{ m})^2}{4} = 0.0506 \text{ m}^2.$$

$$\text{Volumen experimental (Vol}_{\text{exp}}) = 3.325 * 10^{-5} \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen escalado (V}_p) = \text{Vol. experimental} * \text{Relación de } Q_p/Q_{\text{exp.}}$$

$$\text{Volumen escalado (V}_p) = (3.325 * 10^{-5} \text{ m}^3) 83.6 = 2.7797 * 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Por lo tanto el tiempo de mezclado a escala total será:

$$\text{Tiempo de mezclado escalado, (t}_{\text{ep}}) = \frac{(V_p \text{ m}^3)}{(Q_p \text{ m}^3/\text{s})}$$

$$\text{De donde: } t_{\text{ep}} = \frac{(2.7797 * 10^{-3} \text{ m}^3)}{(0.0561009 \text{ m}^3/\text{s})} = 0.049548 \text{ s} \approx 0.05 \text{ s.}$$

Nota 1: El volumen escalado ( $V_p$ ) no considera los elementos internos del mezclador, por lo que el fabricante estimará la longitud necesaria del mezclador para cumplir con un tiempo de retención igual a 0.049548 s. y así mismo que proporcione un gradiente de mezclado igual a 22368  $\text{s}^{-1}$ .

Nota 2: Las condiciones de escalación, en el mezclador estático, son las mismas en cualquier punto de este.

En la figura 2.1-I se muestra el diagrama típico de instalación de proceso, y en los anexos se incluyen los catálogos de selección de equipos para diferentes aplicaciones.



**2.2**

**FILTRACIÓN**

## 2.2 Filtración

### 2.2.1 Introducción

La filtración es la operación unitaria utilizada en el tratamiento de agua para llevar a cabo la remoción de partículas suspendidas, y algunos microorganismos objetables, comúnmente encontradas en el agua.

La filtración puede efectuarse de muchas formas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel filtro) o en medios granulares (arena, antracita granate o combinados) con flujo ascendente o descendente y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante. La siguiente tabla muestra una clasificación de los filtros comúnmente empleados.

Tabla 2.2-1  
Clasificación de los filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 120 - 360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día	1.- Arena (h= 60-75 cm)	Ascendente	Por gravedad
	2.- Antracita (h= 60-75 cm)	Descendente	Por Presión
	3.- Mixtos: Antracita (h=60-75 cm) Arena (20 - 35 cm)		
	4.- Mixtos: Arena, Antracita, granate	Flujo Mixto	
Lentos 7 - 14 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día	Arena (h = 60 - 100 cm)	Descendente Ascendente Horizontal	Por gravedad

Ref.- Arboleda Valencia J., Teoría y Práctica de la Purificación del agua (1992)

En el caso particular de la planta "Tulyehualco 5", el material a ser removido es básicamente el producto de las reacciones de oxidación entre el hipoclorito de sodio y el ión Mn<sup>2+</sup> que dan como resultado la formación de MnO<sub>2</sub> (óxido de manganeso) insoluble en forma de finísimas partículas coloidales, las cuales por efecto de fuerzas de atracción intermolecular tenderán a depositarse sobre la superficie del lecho filtrante.

Se ha demostrado experimentalmente que el material depositado formará una incipiente precapa sobre el lecho granular la cual se irá acumulando conforme avanza la corrida de filtración. En este caso, el proceso inicia haciendo pasar el agua a través de un medio filtrante compuesto por arena sílica y antracita, soportado en arena de diferente granulometría, en donde la materia en suspensión será retenida, ya sea en la superficie o será capturada a través de la profundidad del lecho filtrante, el material suspendido puede consistir de partículas en un amplio rango de tamaños entre los cuales se encuentran algas, compuestos húmicos coloidales (producto de la descomposición de materia orgánica), virus, bacterias, entre otros.

La filtración que se utilizará para en la planta Potabilizadora Tulyehualco 5 será del tipo a presión. En esta modalidad, el medio poroso se encontrará en un tanque metálico cerrado donde la fuerza impulsora es ejercida por la presión de un bombeo.

Los filtros son generalmente diseñados para una velocidad de filtración de 240 a 480  $m^3/m^2$  día (4 a 8 gal/minft<sup>2</sup>) con diámetros que varían de 1 a 3 m, las velocidades de retrolavado típicamente se encuentran en el intervalo de 480 a 1200  $m^3/m^2$  día (8 a 20 gal/minft<sup>2</sup>) dependiendo del tamaño del medio, la temperatura y el sistema auxiliar de lavado, el tamaño efectivo y la profundidad del medio son similares a los utilizados en aplicaciones estándar de filtración esto es, normalmente, entre 0.50 a 0.70 m, en el caso de la zeolita es común utilizar un tamaño efectivo pequeño menor a 0.3 mm, la arena sílica normalmente tiene un tamaño de 0.5 a 0.8 mm soportado en tres a cuatro capas de grava gruesa. Un medio filtrante grueso producirá un efluente aceptable y razonables corridas de filtración si la profundidad del lecho es incrementada.

Con base en lo anterior y a partir de los resultados de los trabajos experimentales se encontraron las siguientes bases de diseño.

### 2.2.2 Bases de diseño

De acuerdo con los resultados encontrados durante la etapa experimental, se proponen las siguientes bases de diseño para el proceso de filtración:

- ❖ Filtros rápidos verticales a presión con lecho dual de arena sílica y antracita soportados en grava.
- ❖ Régimen de filtración de tasa declinante variable, flujo descendente con retrolavado con agua a presión por medio de bombeo, con control de flujo por medio de válvula de control en la alimentación a la batería de filtración.
- ❖ Medio filtrante: Arena sílica - Antracita.
- ❖ Carga hidráulica superficial de diseño,  $(CHS_F) = 381.34 m^3/m^2$  día (6.5 gal/minft<sup>2</sup>).
- ❖ Flujo de agua normal ( $Q_T$ ): 51 l/s.
- ❖ Flujo de agua de diseño ( $Q_{Max}$ ): 56.1 l/s.
- ❖ Temperatura de diseño (T): de 15 a 20 °C.
- ❖ Número mínimo de filtros: 4 (estimado).

El espesor de cada lecho filtrante estará de acuerdo con el criterio de Kawamura y Arboleda y las recomendaciones de Degremont para este tipo de filtros; para el diseño de las unidades de filtración se usarán 60 cm de lecho, del cual 20 cm son de arena y 40 cm de antracita, esta profundidad del lecho filtrante será compatible con la granulometría utilizada y la velocidad de filtración; el objetivo es darle mayor duración al proceso. La granulometría del lecho filtrante estará de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Tabla 2.2-II  
Granulometría de la Arena

Tamaño efectivo:	0.6 mm.
Coefficiente de uniformidad:	1.7
Tamaño en el percentil 10 ( $P_{10}$ ):	0.60 mm.
Tamaño en el percentil 60 ( $P_{60}$ ):	1.02 mm.
Tamaño en el percentil 30 ( $P_{30}$ ):	0.66 mm.
Tamiz No.	20-30
Dureza en la escala de Mohr: apróx.	7

Tabla 2.2-III  
Granulometría de la Antracita

Tamaño efectivo.	0.79 mm.
Coeficiente de uniformidad.	1.77
Tamaño en el percentil 10 ( $P_{10}$ ).	0.79 mm.
Tamaño en el percentil 60 ( $P_{60}$ ).	1.40 mm.
Coef. de Curvatura (C.C).	0.904

Grava:

- ❖ Drenaje tipo cabezal con laterales perforados bajo lecho de grava soporte.
- ❖ Sistema de distribución: cabezal con tubos laterales perforados.
- ❖ Carga hidráulica de retrolavado: 25.8 gal/minft<sup>2</sup>.
- ❖ Expansión del medio filtrante: 14.5 % (arena), 56% (antracita).
- ❖ Hidráulica de filtración, ecuación de Rose.
- ❖ Hidráulica del retrolavado, modelo Amirtharajah - Cleasby.

La curva de la granulometría de la arena se presenta en la figura 1.4.1-III del capítulo 1; la curva de la granulometría de la antracita se presenta en la figura 2.2-I del presente capítulo:

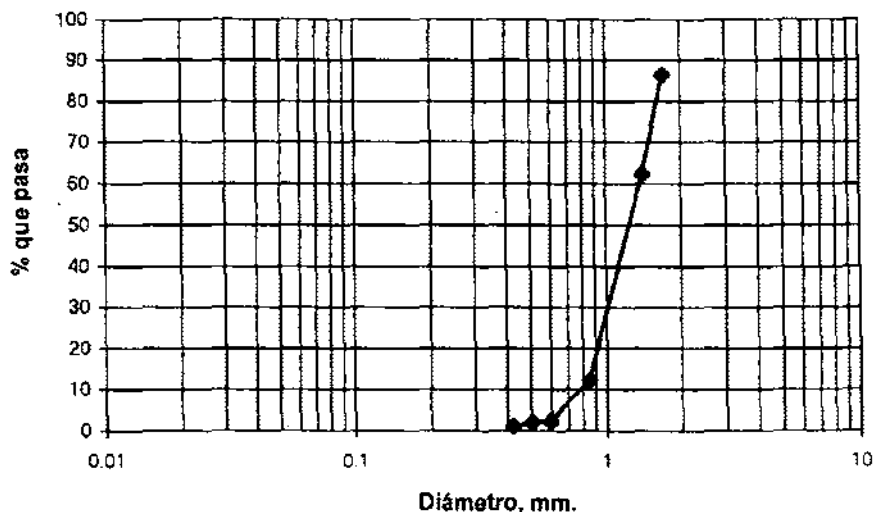


Figura 2.2-I Curva de granulometría de la Antracita

### 2.2-3 Dimensionamiento de las unidades de filtración

Para efectuar el cálculo de las dimensiones de los filtros, así como de la capacidad de cada filtro se seguirá la siguiente metodología:

Consideraciones:

- ❖ Flujo normal de la planta,  $Q_T = 51$  l/s
- ❖ Flujo máximo de la planta,  $Q_{Máx.} = 51 * 1.1 = 56.1$  l/s (para diseño).
- ❖ Carga Hidráulica Superficial de filtración,  $CHS_F = (V_t) = 15.88$  m/hr  
 $V_t$  = es la reportada experimentalmente.
- ❖ Considérese  $N_{filtros} = 4$ , operando a flujo máximo, por lo tanto, para  $N_{filtros}$  en operación, cero filtros en retrolavado, el flujo máximo en cada filtro será:

$$Q_{Fil} = \frac{Q_{Máx.}}{N_{Filtros}} \quad 2.2-I$$

De tal forma que:  $Q_{Fil} = \frac{56.1}{4} = 14.025$  lps

Para calcular el área interna del filtro, se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_{Fil} = \frac{Q_{Fil}}{CHS_F} \quad 2.2-II$$

Donde:  $A_{Fil} = \frac{1214.76 \frac{m^3}{día}}{381.34 \frac{m}{m^2 \cdot día}} = 3.17 m^2$

El cálculo del diámetro interno del filtro se hace a partir de:

$$D_{Int} = \sqrt{\frac{4 * A_{Fil}}{\pi}} \quad 2.2-III$$

De donde,  $D_{Int.} = 2.01$  m.

Con base en los resultados anteriores, considérese la selección de una batería de filtración consistente de 4 (cuatro) filtros con las siguientes dimensiones:

Diámetro interno ; 2.01 m.  
 Área de filtración ; 3.17 m<sup>2</sup>.

De acuerdo a los datos reportados en bibliografía (R.E. Baumann), la velocidad de retrolavado para un lecho de arena silica - antracita con un diámetro promedio de partícula de 1.09 mm @ 25 °C para una expansión mínima del 10% es de aproximadamente 21 gal/minft<sup>2</sup> = 14.259 ~ 15 l/s m<sup>2</sup>.

Por lo tanto para determinar el flujo de agua de retrolavado requerimos el área de filtración y la carga hidráulica de retrolavado como se indica a continuación:

De la ec. 2.2-III.

$$A_{\text{fil real}} = 0.25 * \pi * d^2 = 3.17 \text{ m}^2. \quad 2.2-IV$$

$$\text{CHS}_{\text{ret}} = 25.8 \text{ gal/mft}^2$$

Entonces, el flujo instantáneo de retrolavado será:

$$Q_{\text{ret.}} = (A_{\text{fil real}})(\text{CHS}_{\text{ret.}}). \quad 2.2-V$$

$$Q_{\text{ret.}} = 3.17 \text{ m}^2 * 1519.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día} = 4816 \text{ m}^3/\text{día} = 55.75 \text{ l/s.}$$

Como se puede apreciar este caudal está muy próximo al caudal máximo de operación del pozo, por lo tanto se propone retrolavar los filtros de arena con el agua del pozo. Estos flujos de retrolavado serán confirmados posteriormente con los cálculos de expansión del lecho filtrante para una expansión de diseño del 10 al 15% a 25°C.

#### 2.2.4 Hidráulica de los lechos filtrantes

A las velocidades de filtración que deberán operar los filtros de arena, la hidráulica de los lechos filtrantes será calculada con las ecuaciones de Rose, para la pérdida de carga en un lecho filtrante estratificado:

$$h_L = \left( \frac{1.067 * v_f^2 * L}{\phi * g s^4} \right) * \sum \frac{C_D * f}{d} \quad 2.2-VI$$

Donde:

- ❖  $h_L$ : Pérdida de carga a través del lecho, [ma].
- ❖  $v_f$ : Velocidad de filtración [m/s].
- ❖  $L$ : 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/s<sup>2</sup>].
- ❖  $s$ : Porosidad del lecho filtrante.
- ❖  $\phi$ : Factor de forma de la partícula,

Algunos autores como Fair, llaman al factor de forma esfericidad  $\phi$ , y el factor de forma propiamente dicho al cual llama S está relacionado con la esfericidad por la ecuación:  $S = 6.0 / \phi$ . Por lo tanto para evitar confusión en la ecuación de Rose, aplicable a este caso, se hará  $\phi = \phi$ .

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:

$$C_D = 0.4 \quad \text{Para } Re > 10^4$$

$$C_D = 24/Re \quad \text{Para } Re < 0.5$$

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

Re: Número de Reynolds,  $N_{Re} = \frac{d \times v \times \rho}{\mu}$  2.2-VII

Donde:

- ❖ d: Diámetro de la partícula, m.
- ❖ v: Velocidad de filtración, m/s.
- ❖ ρ: Densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>.
- ❖ μ: Viscosidad dinámica, N-seg/m<sup>2</sup> = cP \* 10<sup>-3</sup> N-s/m<sup>2</sup>.

La base de datos para el cálculo de la caída de presión en lecho de arena - antracita se presenta en la tabla 2.2-IV

**Tabla 2.2- IV**  
**Propiedades de los materiales**

Concepto	Variable	Cálculos
<b>Capacidad de la planta</b>		
[litros/seg]		51
No. de filtros		4
<b>Flujo de agua por filtro</b>		
[litros/seg]		12.75
[m <sup>3</sup> /seg]		0.01275
[m <sup>3</sup> /día]		1101.6
<b>Propiedades físicas del agua</b>		
temperatura de operación,	[°C] T	25
Densidad del agua,	[g/cm <sup>3</sup> ] ρ	0.997
	[lb/ft <sup>3</sup> ]	62.246
	[lb seg <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup> ]	1.9331
Viscosidad del agua;	[cP] μ	0.8935
	[lb/ft-seg]	6.00E-04
	[lb seg/ ft <sup>2</sup> ]	1.87E+05
	[Kg/m-seg]	1.0E-03
<b>Dimensiones del filtro</b>		
Diámetro,	[m] d	1.91
Area superficial;	[m <sup>2</sup> ] A	2.88
	[ft <sup>2</sup> ]	30.46
<b>Profundidad del lecho</b>		
		L
Arena;	[m]	0.20
Antracita;	[m]	0.40
Grava;	[m]	0.4532
1/8" ;	[m]	0.1016
1/4" ;	[m]	0.1016
1/2" ;	[m]	0.125
3/4" ;	[m]	0.125

Tabla 2.2-IV Propiedades de los materiales (cont.)			
<b>Retrolavado</b>			
Carga Hidráulica superficial;	[gal/minft <sup>2</sup> ]	V	25.8
	[m <sup>3</sup> /seg-m <sup>2</sup> ]		0.0181
	[m <sup>3</sup> /dia m <sup>2</sup> ]		1519.54
Velocidad de retrolavado;	[ft/s]		0.0577
	[cm/s]		1.76
Flujo de retrolavado;	[gal/min]	Q <sub>r</sub>	662.6
	[m <sup>3</sup> /s]		0.0557
	[l/s]		55.75
<b>Propiedades del medio (arena)</b>			
Esféricidad de la partícula;		φ	0.8
Factor de forma;		S	0.75
Porosidad;		e	0.475
Diámetro efectivo de partícula;	[mm]	d <sub>e</sub>	0.6
	[cm]		0.06
Coefficiente de uniformidad;		U	1.7
Diámetro de partícula al 60%;	[mm]	D <sub>60</sub>	1.02
	[ft]		0.003346
Densidad de partícula;	[lb/ft <sup>3</sup> ]	ρ <sub>s</sub>	165.45
	[g/cm <sup>3</sup> ]		2.65
Gravedad específica de partícula;		S <sub>s</sub>	2.65
<b>Propiedades del medio (Antracita)</b>			
Esféricidad de la partícula;		φ	0.35
Factor de forma;		S	1.71
Porosidad;		e	0.722
Diámetro efectivo de partícula;	[mm]	d <sub>e</sub>	0.79
	[cm]		0.079
Coefficiente de uniformidad;		U	1.77
Diámetro de partícula al 60%;	[mm]	D <sub>60</sub>	1.4
	[ft]		0.004593
Densidad de partícula;	[lb/ft <sup>3</sup> ]	ρ <sub>s</sub>	102.91
	[g/cm <sup>3</sup> ]		1.65
Gravedad específica de partícula;		S <sub>s</sub>	1.65
<b>Propiedades de la grava soporte</b>			
Esféricidad de la partícula;		φ	0.8
Factor de forma;		S	7.50
Porosidad;		e	0.4000
Densidad;	[Kg/m <sup>3</sup> ]	ρ	1600
	[lb/R <sup>3</sup> ]		99.8



Tabla 2.2-V  
Análisis de la caída de presión en flujo descendente a lecho limpio de arena

Tamiz		Rango de tamaño de partícula		Pasa acumulado	Fracc. retenida	Tamaño medio geométrico	$Re_u$	$CD_u$	$(CD_u f_u)/d_u$
No	No	[mm]		%	$f_u$	$d_u$ [m]			
14	20	1.40	0.85	99.43	0.0688	0.001125	4.93	5.82	355.92
20	30	0.85	0.590	92.55	0.8632	0.00072	3.16	8.88	10646.1
30	35	0.590	0.500	6.23	0.01623	0.000545	2.39	11.64	346.63
35	40	0.500	0.425	4.63	0.0379	0.0004625	2.028	13.65	1118.56
40	45	0.425	0.355	0.84		0.00039	1.71	16.13	0.000
				Suma = 0.9859					suma=12467.24

Tabla 2.2-VI  
Cálculo de caída de presión en lecho de arena-antracita

Filtros operando	Flujo por filtro, l/s	Pérdida de carga 25 °C, (m)
4	12.75	0.1289
4	14.025	0.1443

### 2.2.5 Hidráulica del retrolavado

El análisis de la hidráulica de retrolavado permitirá determinar la altura máxima del lecho expandido de arena y por tanto la altura total del recipiente, el flujo de agua de retrolavado, la capacidad del tanque de acumulación de agua de retrolavados y el consumo diario de aguas de retrolavado.

De acuerdo con Kawamura, un lecho estará completamente fluidizado cuando la fuerza fraccional ejercida por el agua de retrolavado sea igual al peso de las partículas y cuando la velocidad de aproximación superficial de retrolavado exceda:

$$V_B = v_t e^{4.5} \quad 2.2-VIII$$

$$e = (V_B / v_t)^{0.22} \quad 2.2-IX$$

Donde:

- ❖  $V_B$ : velocidad mínima de fluidización.
- ❖  $e$ : porosidad del lecho.
- ❖  $v_t$ : velocidad terminal.

Kawamura observó que en la mayoría de los casos comunes la tasa de retrolavado debería exceder 0.3 m/min (7 gal/minft<sup>2</sup>) pero debería ser menor que 10<sub>00</sub> m/min para la arena, donde  $D_{60}$  es el tamaño de la partícula en el percentil 60 en mm, estas observaciones fueron hechas a 20 °C y para arena de 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:

$$V_{B(T)} = V_B(20^\circ\text{C})\mu^{(1/3)} \quad 2.2-X$$

Donde:

$\mu$ : es la viscosidad en centipoises a la temperatura T en °C.

Si  $D_{60} = 1.02$  mm.:  $CHS_{ret} = 1519$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.;  $CHS_{ret} = 25.9$  gal/minft<sup>2</sup>.

Como puede esperarse, la tasa de retrolavado se deberá encontrar alrededor de este valor. Utilizando el modelo de expansión del lecho de Amirtharajah-Cleasby que a continuación se indica, se efectuaron cálculos para encontrar la tasa de retrolavado más conveniente 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:

$$hl = Le \left[ \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right] * (1 - ee) \quad 2.2-XI$$

$$ee = \left( \frac{V}{k} \right)^{1/n} \quad 2.2-XII$$

$$k = \frac{V_{mf}}{e^n} \quad 2.2-XIII$$

$$Re_0 = \frac{\rho * V_r * D_{60}}{\mu} \quad 2.2XIV$$

$$Le = L * \left[ \frac{1 - e}{1 - ee} \right] \quad 2.2-XV$$

$$V_s = 8.45 V_{mf} \quad 2.2-XVI$$

$$V_{mf} = 0.00381 * D_{60}^{1.82} * \frac{[\rho * (\rho_s - \rho)]^{0.94}}{\mu^{0.88}} \quad 2.2-XVII$$

$$Re_{mf} = \frac{\rho * V_{mf} * D_{60}}{\mu} \quad 2.2-XVIII$$

$$K_R = 1.775 Re_{mf}^{-0.272} \quad \text{Si } Re_{mf} > 10 \quad 2.2-XIX$$

$$(V_{mf})_{cor} = V_{mf} * K_R \quad \text{si } Re_{mf} > 10 \quad 2.2-XX$$

$$n = 4.45 Re_{mf}^{-0.1} \quad 2.2-XXI$$

Donde:

- ❖  $hl$ : Pérdida de carga en el lecho expandido, [pulg. de agua].
- ❖  $Le$ : Profundidad del lecho expandido, [pulg.].
- ❖  $\rho_s$ : Densidad de la partícula, [lb/ft<sup>3</sup>].
- ❖  $\rho$ : Densidad del agua, [lb/ft<sup>3</sup>].
- ❖  $ee$ : Porosidad del lecho expandido.
- ❖  $V$ : Tasa de retrolavado [gal/minft<sup>2</sup>].
- ❖  $k$ : Constante.
- ❖  $n$ : Coeficiente de expansión de Amirtharajah.
- ❖  $V_{mf}$ : Velocidad mínima de fluidización, [gal/minft<sup>2</sup>], [ft/s], =  $V_{mf}$  [gal/minft<sup>2</sup>] / 448.86.
- ❖  $e$ : Porosidad de lecho no expandido.
- ❖  $V_s$ : Velocidad de asentamiento perturbada, [gal/minft<sup>2</sup>], [ft/s].
- ❖  $Re_0$ : Número de Reynolds de la partícula basado en  $V_s$ .
- ❖  $\mu$ : Viscosidad, [cP], [lb/ft-s] = [cP] x 6.72 E-04.
- ❖  $D_{60}$ : Diámetro de la partícula en el percentil 60, [mm], [ft] =  $D_{60}$ [mm] \* 3.048E-04, también es el producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad del medio.
- ❖  $K_R$ : Coeficiente de corrección a  $V_{mf}$  para números de Reynolds, ( $Re_{mf}$ ) > de 10.
- ❖  $Re_{mf}$ : Número de Reynolds de la partícula basado en  $V_{mf}$ .

Los resultados de los cálculos anteriores se presentan en la tabla 2.2 -VII.  
Tabla 2.2-VII

**Hidráulica del retrolavado de los filtros de arena (Amirtharajah-Cleasby)**

Cálculo de la hidráulica (arena)		Variable	Cálculo
Vel. mínima de fluidización,	[gal/minft <sup>2</sup> ]	$V_{mf}$	18.41
	[ft/s]		0.0410
No. de Reynolds de fluidización mínima,		$Re_{mf}$	14.23
Factor de corrección calculado,		$K_R$	0.862
Factor de corrección utilizado,			0.862
Vel. mínima de fluidización corr.;	[gal/minft <sup>2</sup> ]	$V_{mf\ corr.}$	15.87
	[ft/seg]		0.353
Vel. de asentamiento de partícula,	[ft/s]	$V_s$	0.2983
No. de Reynolds basado en $V_s$ ;		$Re_o$	103.54
Coefficiente de expansión,		$n$	2.798
Constante de expansión,		$k$	127.4
Porosidad en expansión,		$ee$	0.565
Profundidad del lecho expandido;	[m]	$L_e$	0.241
	[cm]		24.1
Porcentaje de expansión, [%]		%	20.5
Pérdida de carga lecho expandido,	[m de agua]	$h_i$	0.174
	[cm de agua]		17.4
<b>Consumo de agua de retrolavado</b>			
Duración del retrolavado;	[min]		15
Frecuencia de retrolavados por periodo;			C/36hr.
	[l/día]		183600
	[m <sup>3</sup> /día]		183.6
% de agua utilizada para retrolavado/filtro			2.7
<b>Cálculo de la hidráulica (Antracita)</b>			
Vel. mínima de fluidización;	[gal/minft <sup>2</sup> ]	$V_{mf}$	18.41
	[ft/s]		0.041
No. de Reynolds de fluidización mínima;		$Re_{mf}$	19.53
Factor de corrección calculado,		$K_R$	0.7909
Factor de corrección utilizado;			0.7909
Vel. mínima de fluidización corr.;	[gal/minft <sup>2</sup> ]	$V_{mf\ corr.}$	14.58
	[ft/s]		0.03242
Vel. de asentamiento de partícula;	[ft/s]	$V_s$	0.2739
No. de Reynolds basado en $V_s$ ;		$Re_o$	130.5
Coefficiente de expansión,		$n$	2.73
Constante de expansión;		$k$	35.48
Porosidad en expansión;		$ee$	0.890
Profundidad del lecho expandido;	[m]	$L_e$	0.63
	[cm]		63
Porcentaje de expansión;	[%]	%	58
Pérdida de carga lecho expandido;	[ma]	$h_i$	0.13
	[cma]		13

Los resultados experimentales de la fluidización de la arena y antracita durante la operación de retrolavado se resumen en la tabla 2.2-VIII y en las figuras 2.2-II y 2.2-III, aparecen las gráficas correspondientes al comportamiento de la fluidización (% de expansión y pérdida de carga) tanto de la arena como de la antracita.

Tabla 2.2-VIII  
Análisis de fluidización

CHS <sub>Ret.</sub> l/mín-m <sup>2</sup>	Altura h			Arena		Antracita	
	h <sub>3</sub> cm	h <sub>5</sub> cm	h <sub>10</sub> cm	h <sub>3</sub> -h <sub>5</sub> cm	% Exp.	H <sub>10</sub> -h <sub>5</sub> cm	% Exp.
487.21	154.6	138.1	126.2	16.5	0	11.9	12.5
568.41	155.5	138.7	126.6	16.8	7	12.1	17
649.61	156	138.8	126.8	17.2	9.5	12	19.5
730.81	156.4	139.6	126.9	16.8	11.5	12.7	23.25
812.01	157	140.2	127	16.8	11	13.2	34.5
893.22	157.4	140.4	127.6	17	10.5	12.8	42.5
974.42	157.4	140.7	127.8	16.7	11	12.9	48
1055.62	157.8	141.2	128.5	16.6	14.5	12.7	56.25
1136.82	157.8	141.5	128.8	16.3	16	12.7	60
1218.02	157.9	141.7	128.9	16.2	20	12.8	65

Prueba de fluidización del retrolavado del lecho Arena-Antracita

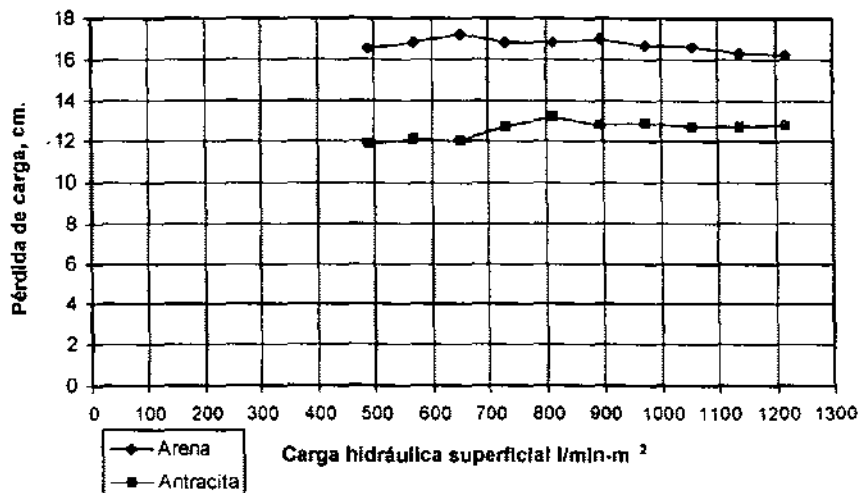


Figura 2.2-II.- Pérdida de carga en lecho de Arena - Antracita.

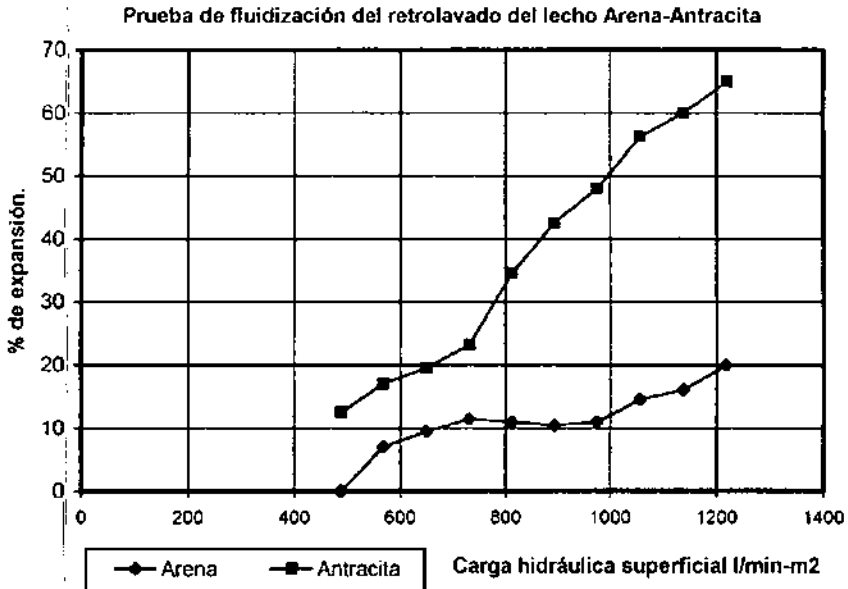


Figura 2.2-III.- % de expansión en lecho de Arena – Antracita

### 2.2.6 Diseño del lecho soporte de grava y del cabezal con laterales

El diseño hidráulico del sistema de bajo dren de los filtros de arena requiere la definición de los siguientes puntos:

- ❖ Definición del lecho de grava soporte.
- ❖ Definición de la pérdida de carga en el lecho soporte en operación de filtración y en retrolavado.
- ❖ Cálculo hidráulico del colector - distribuidor múltiple con laterales perforados en operación y en retrolavado.

El diseño hidráulico del colector - distribuidor está gobernado por la operación de retrolavado, por lo tanto si éste es satisfactorio, el funcionamiento como colector en flujo descendente también lo será. El procedimiento clásico de cálculo para el sistema es el recomendado por Fair y actualizado por Horváth. Los siguientes criterios de diseño permitirán diseñar un sistema de múltiple con laterales con un buen balance hidráulico para velocidades de retrolavado en el orden de  $\approx 22.5 \text{ gal/minft}^2$ :

- ❖ La red de tubería será construida de acero inoxidable 304 cd.40.
- ❖ Según Fair, el coeficiente de descarga C, de los orificios, estará entre  $C = 0.75$  y  $0.6$ .
- ❖ Relación de área de orificio al área del lecho:  $1.5$  a  $5 \times 10^{-3}$ :  $1$ .
- ❖ Relación del área de flujo del lateral al área de orificios en servicio:  $2$  a  $4$ : $1$ .
- ❖ Relación del área del cabezal principal al área de laterales servidos:  $1.5$  a  $3$ : $1$ .
- ❖ Diámetro de los orificios:  $3$  a  $12$  pulg. sobre centros.
- ❖ Espaciamiento de laterales: cercano al espaciamiento de los orificios.

Los orificios en los laterales serán perforados en una fila dirigida verticalmente hacia abajo en ángulos de 45° o 30° sobre ambos lados de la vertical o alternados. El arreglo de los orificios perforados es función del arreglo de la cámara de grava seleccionada para el soporte de la arena, el lateral con orificio sencillo dirigido hacia abajo es recomendado para un arreglo soporte de grava del tipo simétrico.

### 2.2.7 Definición del lecho de grava soporte

El lecho de arena estará soportado por una serie de camas de grava soporte, el sistema usado de camas soporte puede ser de dos tipos: simétrico o asimétrico. El filtro será diseñado para un sistema de grava asimétrica con perforaciones alternadas a 45° de la vertical hacia abajo.

La profundidad de la cama de grava será propuesta de acuerdo a las recomendaciones dadas por arboleda. La siguiente tabla muestra los tamaños de diámetro de grava propuestos así como la profundidad y composición de la cama:

Tabla 2.2-IX  
Profundidad de la cama de grava

Tamaño, [pulg.]	1/8"	1/4"	1/2"	3/4"
Tamaño, [cm]	0.3175	0.635	1.27	1.905
Profundidad, [pulg.]	4	4	5	5
Profundidad, [cm]	10.16	10.16	12.50	12.50

### 2.2.8 Cálculo hidráulico del colector distribuidor con laterales perforados

El cálculo hidráulico de los laterales perforados deberá proporcionar un resultado aproximado de la eficiencia de distribución del agua de lavado, así como la caída de presión debida al múltiple con laterales. El principio básico de diseño del distribuidor es obtener una caída de presión a través de los orificios lo suficientemente grandes para que los efectos del cambio de presión, debido a los cambios de momentum y fricción, sean despreciables. El procedimiento de diseño, presentado a continuación, permitirá obtener una distribución de flujos con una desviación de  $\pm 5\%$  del valor promedio.

La caída de presión en un lateral perforado con "n" orificios actuando como distribuidor del flujo de retrolavado esta dado por las ecuaciones:

$$\Delta H_p = (1 - m^2) \Delta H_{o1} \quad 2.2-XXII$$

$$\Delta H_p = \frac{1}{3} * f * \frac{L_p}{D_p} * \frac{V_{ip}^2}{2gc} \quad 2.2-XXIII$$

Donde:

$\Delta H_p$ ; Pérdida por fricción permisible en el lateral (tubería), [cm].

m; Relación en el flujo de descarga del último orificio al del primer orificio,  $Q_{on}/Q_{o1}$ .

$\Delta H_p$ ; Pérdida de carga a través del primer orificio que alcanza el agua de lavado, [cm].

Un estimado de la eficiencia de distribución (o el % de mala distribución) en el lateral puede ser calculado con la ecuación:

$$\% \text{ Mala distribución} = 100 * \left[ 1 - \left( \frac{(\Delta H_{01} - \Delta H_p)}{\Delta H_{01}} \right)^{0.5} \right] \quad 2.2\text{-XXIV}$$

Las ecuaciones de diseño del orificio son:

$$\Delta H_o = \left( \frac{V_o^2}{C_o^2 * 2g_c} \right) \quad 2.2\text{-XXV}$$

$$NR_{co} = \left( \frac{D_o V_o \rho}{\mu} \right) > 5000 \quad 2.2\text{-XXVI}$$

El espesor de la pared del lateral perforado deberá cumplir con la siguiente desigualdad para que el coeficiente del orificio tenga el valor exacto de  $C_o = 0.675$ .

$$t_w \leq 0.75 D_o.$$

En las ecuaciones anteriores los variables tienen el siguiente significado:

- ❖  $C_o$ : Coeficiente de descarga del orificio.
- ❖  $D_p$ : Diámetro del tubo, [cm].
- ❖  $D_o$ : Diámetro del orificio, [cm].
- ❖  $f$ : Factor de Darcy.
- ❖  $g_c$ :  $9.8 \text{ m/s}^2$ .
- ❖  $L_p$ : Longitud del lateral entre el primero y el último orificio, [cm].
- ❖  $n$ : Número de orificios.
- ❖  $t_w$ : Espesor de la pared del tubo lateral, [cm].
- ❖  $V_{ip}$ : Velocidad de entrada al lateral, [cm/s].
- ❖  $V_o$ : Velocidad del orificio, [cm/s].
- ❖  $\mu$ : Viscosidad del agua, [kg / (s - cm)].
- ❖  $\rho$ : Densidad del agua, [kg/m<sup>3</sup>].

Otras relaciones útiles para aproximar el diseño de un sistema distribuidor - colector de múltiple con laterales perforados son los siguientes:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{R_e} \right)^{12} + (A+B)^{-3/2} \right]^{1/12} \quad 2.2\text{-XXVII}$$

$$A = \left\{ -2.457 \text{Ln} \left[ \left( \frac{7}{R_e} \right)^{0.9} + 0.27 \left( \frac{\varepsilon}{D} \right) \right] \right\}^{16} \quad 2.2\text{-XXVIII}$$

$$B = \left( \frac{37530}{R_e} \right)^{16} \quad 2.2\text{-XXIX}$$

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu} \quad 2.2\text{-XXX}$$

Donde:

- ❖  $R_e$ ; Número de Reynolds en el tubo.
- ❖  $D$ ; Diámetro interno del tubo, [cm].
- ❖  $V$ ; Velocidad en el tubo, [cm/s].
- ❖  $c$ ; Rugosidad del tubo, [cm].

El cálculo del número de laterales y su arreglo geométrico es como sigue:

Para tener una completa distribución del flujo de agua a través de toda la superficie del lecho del filtro, la bibliografía especializada propone, para diámetros de estas características, lo siguiente:

Supóngase 10 laterales equidistantes a líneas de centros, por lo tanto:

$P$ ; Número de laterales.

$$P = 10.$$

Considérese una distancia  $x = 5$  cm.

Una distancia:

$$d = s/2 \quad 2.2\text{-XXXI}$$

El cálculo de la longitud del cabezal múltiple:

$$L_m = (P-1) s + s \quad 2.2\text{-XXXII}$$

$$s = \frac{L_m}{P} = \frac{D - 2x}{P} \quad 2.2\text{-XXXIII}$$

De donde:

$$s = \frac{[1.91 \text{ m} - (2)(0.05 \text{ m})]}{10} = 0.181 \text{ m}$$

De la ec. 2.2-XXXI;

$$d = \frac{s}{2} = \frac{0.181 \text{ m}}{2} = 0.0905 \text{ m}.$$

Igualmente de la ec. 2.2-XXXII;

$$L_m = s \cdot (p) = 0.181 \text{ m} \times 10 = 1.81 \text{ m}$$

Considérese por lo tanto:

Un múltiple de 10" de diámetro de acero al carbón ced. 40.

Depm. ; 10" = 0.273 cm.

Espesor de pared; 0.00927 m.

Diámetro interior; 0.2027 cm.

La longitud de los laterales será calculada con la siguiente fórmula:



$$C = 2\sqrt{2hr - h^2} \quad 2.2\text{-XXXIV}$$

$$C = 2(L + x) \quad 2.2\text{-XXXV}$$

Donde:

h; Distancia normal del casco del filtro al centro de línea del lateral. [cm].

r; Radio del filtro, [cm] = D/2.

Las longitudes calculadas para los laterales en un cuadrante son:

Tabla 2.2-X  
Resultados del cálculo de laterales

Lateral	h, [m]	C, [m]	L [m]	lp, [m]
1	0.1405	0.9972	0.4486	0.3121
2	0.3215	1.4293	0.6646	0.5281
3	0.5025	1.682	0.791	0.6545
4	0.6835	1.8312	0.8656	0.7291
5	0.8645	1.9014	0.9007	0.7642

### 2.2.9 Comportamiento hidráulico del múltiple con laterales

En la tabla 2.2-X se resumen los cálculos finales de la distribución de flujo de agua en los laterales, el diámetro y número total de orificios, así como las caídas de presión en los laterales, múltiple y orificios. Se considera que el distribuidor múltiple con laterales está bien balanceado cuando el parámetro calculado  $m_{-1,0}$ , donde m se calcula con la ecuación:

$$m = \left[ 1 - \frac{\Delta H_p}{\Delta H_{01}} \right]^{1/2} \quad 2.2\text{-XXXVI}$$

#### 2.2.9.1 Pérdida de carga en la cama de grava soporte

Las tablas 2.2-XI y 2.2-XII presentan los resultados del cálculo de la pérdida de carga de la grava soporte en flujo descendente y en la operación de retrolavado a flujo máximo a 9 y 25 °C.

Tabla 2.2-XI  
Cálculo de  $\Delta P$  en lecho limpio de grava Diám. Int. del filtro = 1.91m, flujo descendente

Tamaño de grava		Profundidad del lecho, (L)		Tamaño medio geométrico	Re <sub>i</sub>	CD <sub>i</sub>	CD/d <sub>i</sub>	Pérdidas. $\eta_L$	
(pulg.)	(m)	(pulg.)	(m)	d <sub>i</sub> (m)				(m.c.a.)	
0.125"	0.00317	4	0.1016	0.003175	13.928	2.2785	717.65	0.00750	
0.250"	0.0063	4	0.1016	0.00635	27.856	1.3092	206.17	0.00215	
0.500"	0.0127	4.5	0.1250	0.0127	55.71	0.8246	64.929	0.00083	
0.750"	0.0190	4.5	0.1250	0.01905	83.568	0.663	34.803	0.00044	
							<b>SUMA</b>	<b>1023.5</b>	<b>0.01094</b>

**Tabla 2.2-XII**  
Cálculo de la  $\Delta P$  en lecho de grava, Dint. del filtro = 1.91 m, flujo de retrolavado

Parámetro			Pérdida
Re	$CD_i$	$CD_i/d_i$	(m.c.a).
56.978	0.8134	256.19	0.04483
113.95	0.5769	90.85	0.01590
227.91	0.4585	36.10	0.00773
341.87	0.4189	21.99	0.00473
SUMA			0.0732

Como puede apreciarse en los cuadros anteriores, la pérdida de carga del lecho de grava a flujo limpio en filtración es muy pequeña, en tanto que para el retrolavado la pérdida de carga total del lecho de grava es de aprox. 7.32 cm; en el cuadro 2.2-XIII se presenta el análisis de la velocidad mínima de fluidización para tamaños de partícula de 1/4, 1/2, 1, y 2 pulgadas de diámetro el cual da una idea de las velocidades que se requieren para fluidizar el lecho de grava.

**Tabla 2.2-XIII**  
Verificación de la velocidad mínima de fluidización, Dint. del filtro = 1.91 m

Tamaño de grava	Tamaño de grava	Tamaño medio geom.	Velocidad de fluidización.	
pulg.	pulg.	d, (mm)	Gal/minft <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s.
0.250	0.250	6.35	124.3	0.084
0.500	0.500	12.70	438.9	0.298
1.00	1.000	25.40	1549.8	1.052
2.000	2.000	50.80	5472.0	3.716

#### 2.2.10 Captación de aguas de retrolavado y su impacto en el sistema de drenaje

El agua de retrolavado que será descargada hacia el sistema de drenaje existente tendrá un fuerte impacto en la capacidad actual, el diseño de las instalaciones para contener el volumen de agua de retrolavados o en su caso aumentar la capacidad de la red de drenaje existente no están dentro del alcance de la ingeniería básica de procesos ya que pertenecen a la disciplina de ingeniería civil e hidráulica y deberán ser completadas en la ingeniería de detalle, sin embargo es necesario presentar algunos criterios de diseño para disponer del volumen de agua de retrolavado minimizando el impacto sobre el drenaje existente.

El agua de retrolavado se puede disponer de dos maneras:

- Descarga directa del drenaje.- Esto representa una descarga de 41.8 lt/s, durante 10 min, bajo estas condiciones el ducto de drenaje trabajando a 2/3 de su capacidad total podría tener un diámetro de 12" de fierro fundido con un coeficiente de Manning de 0.012, una velocidad de 5.7 m/s y una pendiente de 0.0044, estos valores son supuestos para propósitos comparativos contra el drenaje existente y podrán ser modificados de acuerdo a los criterios particulares de diseño hidráulico en la etapa de ingeniería de detalle.

- Captación del agua en un tanque de almacenamiento de  $38.7 \text{ m}^3$  equivalentes al volumen de un retrolavado  $25.8 \text{ m}^3$  más un 50% de sobrediseño, este volumen de agua se puede descargar en forma controlada por medio de bombeo, esto representa un flujo de  $4.3 \text{ m}^3/\text{hr}$  durante 6 horas, esta capacidad de descarga no representa mayor problema para el sistema de drenaje existente, sin embargo se deberá evaluar la disponibilidad de terreno para ubicar el tanque de captación de agua de retrolavado.

Se hace la observación, con respecto a este apartado de que, debido a las limitaciones de espacio en el terreno, no se considera un cárcamo de recolección de aguas de retrolavado, por lo que habrá que buscar otras opciones para su disposición final.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los resultados del dimensionamiento de las columnas de filtración:

**Cuadro 2.2-1**  
Cuadro resumen de la columna de filtración

Concepto		Cálculo
Caudal	$(\text{m}^3/\text{s})$	0.01402
No. de filtros		4
Diámetro <sub>nom</sub>	$(\text{m})$	2.01
Area superficial	$(\text{m}^2)$	3.17
Caudal <sub>nom</sub>	$(\text{l/s})$	14.025
C.H.S. <sub>nom</sub>	$(\text{m}^3/\text{m}^2\text{día})$	381.34
C.H.S. <sub>retrolavado</sub>	$(\text{m}^3/\text{m}^2\text{día})$	1519.54
Profundidad del lecho		
Arena	$(\text{m})$	0.20
Antracita	$(\text{m})$	0.40
Gravilla	$(\text{m})$	0.40
Falso fondo	$(\text{m})$	0.60
Bajo dren	$(\text{m})$	0.40
Diam. tubo de agua retrolavado	$(\text{m})$	0.1524
	$(\text{Pulg})$	6
Altura total del filtro t-t	$(\text{m})$	2.605

Nota: Ver esquema del típico de Proceso al final de este capítulo.

**2.3**

***ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO***

## 2.3 Adsorción en Carbón Activado Granular

### 2.3.1 Introducción

El proceso de adsorción se ubicará después del proceso de filtración y se contempla en el tren de potabilización para la remoción de compuestos organoclorados que se hubieran formado durante la cloración, así como para la remoción de color, olor y sabor.

El mecanismo por el cual se lleva a cabo la remoción de los contaminantes orgánicos del agua por el proceso de adsorción, es debido esencialmente a tres factores: El primero, es el transporte del soluto de una solución acuosa a la película superficial en el exterior del carbón, el segundo es la difusión del soluto dentro de los poros del carbón, el tercero y último paso es la adsorción del soluto en la superficie interna de los poros y espacios capilares del carbón activado. Por esta razón el tamaño del poro y el área superficial del material es de particular importancia en este proceso.

No obstante que existen carbones activados fabricados de diversos materiales, se recomienda utilizar el carbón activado fabricado del carbón de concha de coco el cual tiene las cualidades de dureza y densidad adecuadas para el uso en el tratamiento de aguas, ya que se humedece rápidamente y no flota, conformando un lecho empacado con características de caída de depresión aceptables. Es generalmente aceptado como carbón activado granular el material con tamaño de partícula mayor a aproximadamente 0.1 mm.

El material utilizado en la etapa experimental para llevar a cabo este proceso fue carbón activado granular de origen vegetal, fabricado de carbón de concha de coco, granulometría 8X30 mallas. Las características del material adsorbente se describen a continuación.

### 2.3.2 Características del carbón activado

La eficiencia y la capacidad de adsorción de un carbón activado con respecto a un compuesto orgánico o color esta íntimamente relacionada con su isoterma de adsorción. Otras medidas de la capacidad de adsorción de un carbón son el Número de Iodo, el Índice de Decoloración de Melazas, el Número de Fenol, el Valor de Taninos, el Valor de ácidos húmicos, entre otros. Cada uno de estos índices tiene un significado específico que caracteriza, al carbón activado para un uso particular, a continuación se da una descripción general de cada una de estas medidas:

*Número de Iodo:* Es una medida de la capacidad de adsorción del carbón para moléculas pequeñas tales como el yodo.

*Índice de Decoloración de Melazas:* Es una medida de la capacidad de adsorción del carbón para grandes moléculas tales como aquellas que imparten color.

*Número de Fenol:* Es usado como un índice de la capacidad de un carbón para remover compuestos que imparten olor y sabor al agua.

*Número de Taninos y Ácidos Húmicos:* Es una medida de la capacidad de un carbón para remover moléculas orgánicas de gran tamaño.

Algunas de las características físicas importantes que hacen de un carbón activado que sea adecuado o no para un uso en particular son: el área superficial, el

tamaño del poro, volumen de poro, número de abrasión, densidad, tamaño efectivo, humedad y altura de declorinación media.

En la tabla 2.3-I se presentan las propiedades físicas de los carbones granulares de concha de coco disponibles comercialmente que tendrían buen desempeño en el proceso de adsorción.

Tabla 2.3-I  
Especificaciones y propiedades del carbón activado (Concha de coco).

Propiedades Físicas	VALORES	NORMA
Serie de tamices	----	Stándar U.S
Serie estándar U.S	8 x 30	ASTM D-2862
Humedad (% máx)	4 Max.	ASTM D-2867
Mayor que No. 8 (%Máx)	5	ASTM D-2862
Menor que No. 30(%máx)	5	ASTM D-2862
Densidad aparente (gr/cc)	0.50-0.55	ASTM D-2854
Número de Iodo.	900min.	ASTM D-4607
Número de dureza	98min.	ASTM D-3802
Radio medio de poro (Å <sup>2</sup> )	7.6	Adsorción N <sub>2</sub>
Long. de semidecloración (cm. máx)	6	DIN 19603
Area sup. total m <sup>2</sup> /g (min)	900	N <sub>2</sub> BET
Contenido de cenizas (%máx).	4	ASTM D-2866

\* Estas especificaciones típicas corresponden a los carbones de Concha de coco

La información de esta tabla ha sido tomada de experimentaciones llevadas a cabo en varios países del mundo, con material de concha de coco por empresas ampliamente reconocidas, los resultados de dichas experimentaciones se presentan en la tabla 2.3-X, al final de este capítulo.

### 2.3.3 Bases de diseño experimentales

Las siguientes filosofías de proceso y los parámetros presentados en la tabla 2.3-II fueron obtenidos en la planta piloto de Santa María Aztahuacan, y son presentados como guía para el dimensionamiento de las unidades de proceso a escala total.

Para la planta potabilizadora "Tulyehualco 5" se seleccionó llevar a cabo el proceso de adsorción en carbón activado granular (GAC) en tanques a presión, de lecho fijo, flujo descendente con retrolavado con agua, el diseño de sistema de drenaje será del tipo falso fondo con boquillas tipo Flexkleen o similares, las columnas de adsorción trabajarán bajo el principio de flujo controlado a régimen constante.

Tabla 2.3-II  
Condiciones de experimentación de las ordenes de trabajo

Parámetro/Orden No.	21	22	23	24	25
Caudal, l/min.	38	25	60	25	55
Tipo de carbón activado	8x30	8x30	8x30	8x30	8x30
Velocidad de filtración.					
l/min-m <sup>2</sup>	134.39	88.42	212.2	88.44	194.6
gal/minft <sup>2</sup>	3.229	2.170	5.208	2.171	4.776
Altura de empaque, m.	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Tiempo de contacto, min.	13.39	20.3	8.48	20.35	9.25
Area de filtración, m <sup>2</sup>	0.2828	0.2827	0.2828	0.2827	0.2826
Area de filtración, ft <sup>2</sup>	3.0436	3.0434	3.0435	3.0427	3.0422

La experimentación a nivel piloto en la planta Santa María Aztahuacan para el proceso de adsorción utilizó el agua del pozo Purísima 7 en donde se obtuvieron algunos

datos respecto a la adsorción de materia orgánica basada en la medición de la eficiencia de adsorción de DQO. Mas adelante se presenta un análisis del proceso en donde se está suponiendo que la masa adsorbida de DQO por unidad de masa de carbón activado es la capacidad real de adsorción.

De acuerdo con las observaciones experimentales reportadas en la literatura, la capacidad de adsorción real es aproximadamente de un 25 a 50% de la capacidad de adsorción teórica calculada a partir de datos de la isoterma de adsorción de campo la cual se puede estimar por la ecuación:

$$(x/m)_b = X_b / M_c = Q(C_i - 0.5C_b)(t_b / M_c) \quad 2.3-I$$

$$t_b = (x/m)_b M_c / [Q_T (C_i - 0.5C_b)] (8.34) \quad 2.3-II$$

Donde:

- ❖  $(x/m)_b$ : Capacidad de adsorción de campo al punto de quiebre, lb/lb.
- ❖  $X_b$ : Masa de material orgánico adsorbido en la columna GAC al punto de quiebre, lb.
- ❖  $M_c$ : Masa de carbón en columna, lb.
- ❖  $Q_T$ : Flujo, Mgal/día.
- ❖  $C_i$ : Concentración de orgánicos en el influente, mg/l.
- ❖  $C_b$ : Concentración de orgánicos en el punto de quiebre, mg/l.
- ❖  $t_b$ : Tiempo de rompimiento al punto de quiebre, mg/l.

De la información experimental de la planta Santa María Aztahuacán para la corrida donde se obtuvo mejor eficiencia de remoción de color (corrida No.25) se tienen los siguientes datos de operación:

$$Q = 55 \text{ l/m} = 55 \times 1440 / 3.785 = 20924.7 \text{ gal/día} = 0.0209 \text{ Mgal/día.}$$

$$C_i = 7.78 \text{ mg/l DQO.}$$

La concentración de orgánicos en el punto de quiebre no fue evaluada en la prueba y por tanto también se carece de la isoterma de adsorción para estimar la capacidad teórica de adsorción, sin embargo una estimación muy gruesa de la capacidad de adsorción teórica puede ser obtenida de datos proporcionados por Eckenfelder [Adsorption, W. Wesley Eckenfelder Jr. Notas de seminario, México 1992], para isotermas típicas de adsorción de DQO que siguen el modelo de Freundlich:

$$x/m = K_f C_e^{1/n} \quad 2.3-III$$

Donde los valores de  $(1/n)$  varían de 0.5 a 1.8 y el valor de  $K_f \approx 0.05$ .

Por lo tanto, considerando un valor típico de  $(1/n) \approx 0.5$ , la isoterma de adsorción pudiera tener la siguiente forma aproximada:

$$x/m = 0.05 C_e^{0.5} \quad 2.3-IV$$

La capacidad de adsorción real pudiera ser:

$$(x/m)_b = 0.5 (x/m)_o \quad 2.3-V$$

$$(x/m)_b = 0.5 C_i^{0.5} \quad 2.3-VI$$

De donde:

$$(x/m)_b = 0.5 \times 7.8^{0.5} = 0.14 \text{ kg DQO/ kg carbón.}$$

$$(x/m)_b = 0.5 \times 0.14 = 0.07 \text{ kg / kg.}$$

La masa de carbón, utilizada en la corrida No. 25 puede ser calculada de los datos siguientes:

$$\text{Altura de empaque, } h_{Emp} = 1.8 \text{ m.}$$

$$\text{Area de la columna, } A_{Col} = 0.282 \text{ m}^2.$$

$$\text{Volumen de carbón, } V_{Carbón} = 1.8 \times 0.2827 = 0.5089 \text{ m}^3 = 18 \text{ ft}^3.$$

$$\text{Masa de carbón 8 x 30 mallas, } m_{Carbón} = 28 \text{ lb/ft}^3 \times 18 \text{ ft}^3 = 504 \text{ lb.}$$

$$m_{Carbón} = 504 \text{ lb.}$$

La concentración de DQO en el punto de quiebre no se conoce, sin embargo una buena suposición es considerar una concentración máxima permisible de 2 mg/l, ( $C_b = 2 \text{ mg/l}$ ) con el propósito de mantener una eficiencia de remoción en el orden del 75% como mínimo al final del tiempo de saturación del carbón, por lo tanto el tiempo estimado para el agotamiento de la columna de adsorción es:

$$t_b = (x/m)_b M_c / [Q (C_i - 0.5C_b)] \quad 2.3-VII$$

De donde

$$t_b = 0.07 \times 504 / 0.0209 \times (7.8 - (0.5 \times 2)) \times 8.34 = 29.8 \text{ días}$$

Como conclusión poco se puede decir acerca del tiempo de rompimiento del lecho de carbón ya que no es posible validar el cálculo anterior de datos obtenidos por las pruebas piloto, por lo tanto el tiempo al punto de quiebre podrá ser conocido solo cuando las unidades se encuentren en operación y se haya agotado la primera carga de carbón. Sin embargo los valores aproximados dan muy buena idea de lo que se puede esperar y permiten advertir lo siguiente:

El conocimiento del tiempo de rompimiento de la columna de adsorción con carbón activado es importante para dimensionar las instalaciones para la carga de carbón agotado de los filtros, así como el almacenamiento de carbón nuevo y pobre, ya que el movimiento logístico de los materiales será fundamental en las operaciones rutinarias de la planta, ya que la inversión en estos sistemas es costosa se recomienda fuertemente evaluar el tiempo de rompimiento del carbón activado antes de decidir el diseño y construcción de las instalaciones auxiliares para el manejo del carbón activado.



### 2.3.4 Dimensionamiento de las unidades contactoras

El dimensionamiento de las torres de adsorción en carbón activado esta basado en cuatro factores: tiempo de contacto, carga hidráulica superficial, velocidad de filtración, profundidad del lecho y número de filtros [Ref 1 y 6]. Esta información la proporcionan los siguientes valores normalmente aceptados para el dimensionamiento de los filtros de carbón activado:

**Tiempo de contacto:** Para aplicaciones típicas de potabilización se recomienda de 10 a 50 min. dependiendo del grado de concentración del contaminante.

**Carga Hidráulica Superficial;** Para flujo descendente cargas hidráulicas del orden de 2.5 a 5 gal/minft<sup>2</sup> son comúnmente utilizadas, sin embargo Culp [Ref.1] menciona que en el intervalo de 2 a 10 gal/minft<sup>2</sup> el rendimiento del filtro se ve poco afectado para tiempo de contacto a lecho vacío constante.

**Profundidad del lecho:** varía dependiendo del tiempo de contacto, puede ser de 2.5 a 10 ft (0.75 a 3 m), se recomienda dar una altura suficiente al contactor para permitir una expansión del lecho por retrolavado del 10 al 50 %.

Tomando en cuenta los espacios disponibles para el arreglo de equipo en el terreno del pozo, se propone utilizar unidades de adsorción convencionales a presión en operación a flujo descendente con retrolavado por bombeo. El carbón agotado se deberá regenerar en las instalaciones del proveedor o fabricante con el cual se contrate el servicio de suministro del material.

#### 2.3.4.1 Bases de diseño

Para el cálculo del número de columnas de adsorción así como la capacidad por columna se utilizarán los siguientes criterios:

- ❖ Flujo máximo,  $Q_{M\acute{a}x.} = 56.1 \text{ l/s (889.29 gal/min.)}$ .
- ❖ Flujo normal,  $Q_T = 51 \text{ l/s (808.45 gal/min.)}$ .
- ❖ Velocidad de adsorción,  $V_{Ad} = CHS_{Ad} = 59.2 \text{ m/min. (0.987 m/min.) @ flujo máximo}$ .
- ❖ Tiempo de contacto,  $t_c = 15 \text{ min @ flujo máximo}$ .

Sabemos que:

$$t_c = \frac{\text{Volumen}}{Q_T} \quad 2.3\text{-VIII}$$

Donde:

- ❖  $t_c$ : Tiempo de contacto a cama vacía, min.
- ❖ Vol.; Volumen de la cámara de carbón activado, m<sup>3</sup>.
- ❖  $Q_T$ ; Flujo de agua, m<sup>3</sup>/s

Por lo tanto, de la ecuación; 2.3-VIII:

$$\text{Vol.} = t_c \times Q_T \quad 2.3\text{-IX}$$

De donde:

$$\text{Vol.} = 15 \text{ min} * \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min.}} \right) * (0.051 \text{ m}^3/\text{s}) = 45.9 \text{ m}^3.$$

Tipo de flujo: descendente.

Relación Largo/ancho, L/D = 2 mínimo.

h = Altura del lecho de carbón activado, m.

### 2.3.4.2 Cálculos para determinar el diámetro y número de columnas de adsorción

Una vez establecido el tiempo de contacto (15 minutos), proponemos diámetros de la columna de adsorción, a partir de los cuales se hará el cálculo del área y la altura de la columna de adsorción mediante las siguientes ecuaciones:

$$A_{Ad.} = \frac{\pi}{4} * D_2^2 \quad 2.3-X$$

$$h_{\text{Columna}} = \frac{\text{Volumen}}{A_{Ad.}} \quad 2.3-XI$$

Los resultados para los diámetros propuestos se presentan en la tabla 2.3-III, donde la altura del empaque se multiplica por el factor de expansión del lecho en retrolavado de 1.5, (50 %).

Tabla 2.3-III  
Cálculos para determinar la altura y el diámetro de la torre  
 $t_c = 15$  minutos, Vol. = 45.90 m<sup>3</sup>.

D <sub>prop</sub> (m)	A <sub>calc.</sub> (m <sup>2</sup> )	h <sub>(altura)</sub> (m)	No. Filtros	h <sub>expan.</sub> h*1.5	h <sub>filtro</sub> h <sub>exp</sub> /2 (m)	V <sub>real</sub> V <sub>cal.</sub> *porosidad.	t <sub>real</sub> min.	h <sub>real,exp</sub> (m)	h <sub>filtro, real</sub> (m)
1.5	1.7671	25.97	2	38.95	19.47	39.015	12.75	33.12	16.56
2	3.1416	14.61	2	21.91	10.955	39.015	12.75	18.61	9.305
2.5	4.9087	9.35	2	14.02	7.01	39.015	12.75	11.92	5.98
3	7.068	6.49	2	9.73	4.87	39.015	12.75	8.28	4.14

Debido a que se dificulta trabajar con diámetros muy grandes y columnas muy elevadas, se hizo la siguiente selección, ver tabla: El diámetro seleccionado es de 2.5 m, con este diámetro se determinan el número de columnas de adsorción, la altura y el caudal para cada columna.

Tabla 2.3-IV  
Resumen de selección del N<sub>o.</sub> de columnas de Adsorción

No. columnas.	h <sub>(columna)</sub> m	QT (l/s) <sub>fil</sub>	Vol <sub>(expansión) filtro</sub> (m <sup>3</sup> )	h <sub>(lecho no expandido)</sub> (m)
2	7.01	25.5	34.42	4.67

De los cálculos reportados en las tablas 2.3-III y 2.3-IV podemos concluir que se requerirá de dos columnas de adsorción con diámetro de 2.5 m, altura de 7.01m, Volumen total del empaque no expandido de 34.42 m<sup>3</sup>.

El volumen total de carbón activado será de 45.90 m<sup>3</sup>, por lo que para cada columna será de 22.95 m<sup>3</sup>.

La altura del lecho no expandido,  $h_{\text{no expandido}} = 4.675\text{m}$ .

En la bibliografía consultada recomiendan alturas complementarias de 1.0 m para falso fondo, 0.45 m de bajo dren, 0.4m de bordo libre y 0.1016 de diámetro de tubo de agua de retrolavado, lo cual suma una altura total de 9.05 m. Finalmente para cada columna tenemos lo siguiente:

La carga hidráulica de filtrado en la columna de adsorción es:

$$CHS_{\text{Adsorción}} = \frac{Q_T}{A_{\text{Adsorción}}} \quad 2.3\text{-XII}$$

Donde:

$$CHS_{\text{Adsorción}} = \frac{25.511\text{ s}}{4.908\text{m}^2} = 311.73 \frac{\text{l}}{\text{min m}^2} = 7.65 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} = 448.9009 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$t_{\text{contacto}} = 15 \text{ min.}$$

$$\text{Vol. empaque} = 22.95 \text{ m}^3.$$

$$h_{\text{altura (carbón no expandido)}} = 4.67 \text{ m.}$$

$$A_{\text{Adsorción}} = 4.9087\text{m}^2.$$

$$D_{\text{int.}} = 2.5 \text{ m.}$$

$$h_{\text{altura}} / D = 7.01 / 2.5 = 2.804 > 2, \text{ bien}$$

Tabla: 2.3-Va

Resumen del dimensionamiento de las torres de carbón activado

$Q_{w_{\text{máx.}}}$	3.366	$\text{m}^3/\text{min}$	889.30	gal/min
$Q_{w_{\text{normal}}}$	3.06	$\text{m}^3/\text{min}$	808.45	gal/min
Diámetro	2.5	m	8.202	ft
Altura del lecho	3.837	m	12.59	ft
Nº Filtros	2			

Tabla: 2.3-Vb

Dimensionamiento de las torres de carbón activado  
Condiciones de diseño: las dos columnas operando

Area de flujo	4.908	$\text{m}^2$	52.83	$\text{ft}^2$
$Q_{w_{\text{sup.}}}$	1.683	$\text{m}^3/\text{min}$	444.64	gal/min
$Q_{w_{\text{normal}}}$	1.53	$\text{m}^3/\text{min}$	404.22	gal/min
Velocidad $_{\text{máx.}}$	493.79	$\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$	8.4164	gal/minft <sup>2</sup>
Velocidad $_{\text{normal}}$	448.899	$\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$	7.6513	gal/minft <sup>2</sup>
Tiempo de contacto	15	min.		

Tabla 2.3.VI  
Requerimientos de Carbón activado

Volumen total de carbón	45.90 m <sup>3</sup>
Vol. de carbón/filtro	22.95 m <sup>3</sup>
Altura del lecho no expandido	4.675

#### 2.3.4.3 Definición del lecho de grava soporte

El lecho de arena estará soportado por una serie de camas de grava soporte, el sistema usado de camas soporte puede ser de dos tipos: simétrico o asimétrico. El filtro será diseñado para un sistema de grava asimétrica con perforaciones alternadas a 45° de la vertical hacia abajo.

La profundidad de la cama de grava será propuesta de acuerdo a las recomendaciones dadas por arboleda (Teoría y práctica de la purificación del agua) y a las especificaciones de diversas fuentes bibliográficas para filtros con lechos de carbón activado.

La siguiente tabla muestra los tamaños de diámetro de grava que serán utilizados así como la profundidad y composición de la cama:

Tabla 2.3-VII  
Profundidad de la cama de grava

Tamaño, [pulg.]	3/8"	1/4" - 1/2"	1/2" - 1.0"	1.0" - 1 1/2"
Profundidad, [pulg.]	4	4	5	5
Profundidad, [cm.]	10	10	12.5	12.5

Profundidad total del lecho soporte de grava = 45 cm.

#### 2.4.4.4 Cálculo hidráulico del colector distribuidor con laterales perforados

El cálculo hidráulico de los laterales perforados deberá dar como resultado un estimado aproximado de la eficiencia de distribución del agua de lavado, así como la caída de presión debida al múltiple con laterales.

El principio básico de diseño del distribuidor es obtener una caída de presión a través de los orificios lo suficientemente grandes para que los efectos del cambio de presión debido a los cambios de momentum y fricción sean despreciables.

El procedimiento de diseño presentado permitirá obtener una distribución de flujos con una desviación de ±5% del valor promedio.

La caída de presión en un lateral perforado con "n" orificios actuando como distribuidor del flujo de retrolavado es:

$$\Delta H_p = (1 - m^2) \Delta H_{01} \quad 2.3-XIII$$

$$\Delta H_p = \left| \frac{1}{3} * f * \frac{L_p}{D_p} * \frac{V_p^2}{2gc} \right. \quad 2.3-XIV$$

Donde:

- ❖  $\Delta H_p$ ; Pérdida por fricción permisible en el lateral (tubería), [cm].
- ❖ M; Relación en el flujo de descarga del último orificio al del primer orificio,  $Q_n/Q_1$
- ❖  $\Delta H_0$ ; Pérdida de carga a través del primer orificio que alcanza el agua de lavado, [cm].

Un estimado de la eficiencia de distribución (o el % de mala distribución) en el lateral puede ser calculado con la ecuación:

$$\% \text{ Mala distribución} = 100 * \left[ 1 - \left( \frac{(\Delta H_{o1} - \Delta H_p)}{\Delta H_{o1}} \right)^{0.5} \right] \quad 2.3\text{-XV}$$

Las ecuaciones de diseño del orificio son:

$$\Delta H_o = \left( \frac{V_o^2}{C_o^2 * 2g_c} \right) \quad 2.3\text{-XVI}$$

$$NR_{90} = \left( \frac{D_o V_o \rho}{\mu} \right) > 5000 \quad 2.3\text{-XVII}$$

El espesor de la pared del lateral perforado deberá cumplir con la siguiente desigualdad para que el coeficiente del orificio tenga el valor exacto de  $C_o = 0.675$ .

$$t_w \leq 0.75 D_o$$

En las ecuaciones anteriores los símbolos tienen el siguiente significado:

- ❖  $C_o$ ; Coeficiente de descarga del orificio.
- ❖  $D_p$ ; Diámetro del tubo, [cm].
- ❖  $D_o$ ; Diámetro del orificio, [cm].
- ❖  $f$ ; Factor de Darcy.
- ❖  $g_c$ ; 9.8 m/s<sup>2</sup>.
- ❖  $L_p$ ; Longitud del lateral entre el primero y el último orificio, [cm].
- ❖  $N$ ; Número de orificios.
- ❖  $t_w$ ; Espesor de la pared del tubo lateral, [cm].
- ❖  $V_{ip}$ ; Velocidad de entrada al lateral, [cm/s].
- ❖  $V_o$ ; Velocidad del orificio, [cm/s].
- ❖  $\mu$ ; Viscosidad del agua, [kg/(s-cm)].
- ❖  $\rho$ ; Densidad del agua, [kg/m<sup>3</sup>].

Otras relaciones útiles para aproximar el diseño de un sistema distribuidor - colector de múltiple con laterales perforados son los siguientes:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{R_e} \right)^{12} + (A+B)^{-v2} \right]^{1/12} \quad 2.3\text{-XVIII}$$

$$A = \left\{ -2.457 \operatorname{Ln} \left[ \left( \frac{7}{R_e} \right)^{0.9} + 0.27 \left( \frac{\epsilon}{D} \right) \right] \right\}^{16} \quad 2.3\text{-XIX}$$

$$B = \left( \frac{37530}{R_e} \right)^{16} \quad 2.3\text{-XX}$$

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu} \quad 2.3\text{-XXI}$$

Donde:

- ❖  $R_e$ : Número de Reynolds del tubo.
- ❖  $D$ : Diámetro interno del tubo, [cm].
- ❖  $V$ : Velocidad en el tubo, [cm/s].
- ❖  $s$ : Rugosidad del tubo, [cm].

El cálculo del número de laterales y su arreglo geométrico es como sigue:

Para tener una completa distribución del flujo de agua a través de toda la superficie del techo del filtro, la bibliografía propone, para diámetros de estas características, lo siguiente:

Supóngase 10 laterales equidistantes a líneas de centros, por lo tanto:

$P$ : Número de laterales = 10.

Considérese una distancia  $x = 5$  cm.

Una distancia  $d = s/2$ , 2.3-XXII

Por lo tanto la longitud del cabezal múltiple:

$L_m = (P-1)s + 2d$  2.3-XXIII

$s = L_m/P$  2.3-XXIV  
 $= (D - 2x) / P = [2.5 \text{ m} - (2)(0.05\text{m})] / 10 = 2.40\text{m} / 10 = 0.24 \text{ m}.$

$r = 1.25 \text{ m}.$

De la ecuación 2.3-XXII,  
 $d = s/2 = 0.24 \text{ m}/2 = 0.12 \text{ m}.$

$L_m = s * (p) = 0.24\text{m} * 10 = 2.40 \text{ m}.$

Con base en los resultados anteriores, considérese un múltiple de 10" de diámetro, ced: 40, de acero al carbón,  $Depm = 10.625" = 26.987\text{cm}$ , espesor de pared =  $0.322" = 0.818 \text{ cm}$ , diámetro interior =  $25.40 \text{ cm}.$

La longitud de los laterales será calculada con las siguientes fórmulas:

$C = 2\sqrt{2hr - h^2}$  2.3-XXV

$C = 2(L + x)$  2.3-XXVI

Donde:

$H$ : Distancia normal del casco del filtro al centro de línea del lateral, [cm].

$R$ : Radio del filtro, [cm] =  $D/2$ .

Las longitudes calculadas para los laterales en un cuadrante son:

Tabla 2.3-VIII  
Resultados del cálculo de laterales

Lateral	h, [m]	C, [m]	L, [m]	lp, [m]
1	0.17	1.259	0.58	0.445
2	0.41	1.853	0.876	0.741
3	0.65	2.193	1.05	0.915
4	0.89	2.394	1.147	1.012
5	1.13	2.488	1.194	1.059

#### 2.3.4.5 Comportamiento hidráulico del múltiple con laterales

La tabla 2.3-VIII presenta los cálculos finales de la distribución de flujo en los laterales, el diámetro y número total de orificios calculado, así como las caídas de presión en los laterales, múltiple y orificios, se considera que el distribuidor múltiple con laterales está bien balanceado cuando el parámetro calculado  $m_{1.0}$  donde  $m$  se calcula con la ecuación:

$$m = \left[ 1 - \frac{\Delta H_p}{\Delta H_{01}} \right]^{1/2} \quad 2.3\text{-XVII}$$

#### 2.3.4.6 Hidráulica del lecho de carbón activado

A las velocidades de filtración que deberán operar los filtros de carbón activado de la planta Potabilizadora Tulyehualco 5, la pérdida de carga de los lechos filtrantes puede ser calculada con las gráficas obtenidas de datos reportados en la bibliografía para el carbón activado de concha de coco, (8x30 mallas) @ 55 °F.

Vel. de filtración limpio (gal/min/ft <sup>2</sup> )	Flujo por filtro limpio (gal/min)	Caída de presión PSI/ft
7.65	404.23	0.15

Si tenemos una caída de presión de 0.15 (PSI/ft), para un lecho de 4.675 m de altura total sin expandir (15.34 ft), se tendrá una caída de presión de:  
 $\Delta P = 15.34\text{ft} (0.15 \text{ PSI/ft}) = 2.30 \text{ PSI}$ .

La pérdida de carga para el falso fondo será calculada para un fondo soporte de acero inoxidable 316 con boquillas FLEKLEEN MARK III de EIMCO de cola larga para distribución uniforme de agua de retrolavado. Estas boquillas normalmente se colocan sobre el falso fondo de 6 - 8 pulg. a centros, (15 a 20 cm) por lo tanto para un arreglo triangular equilátero con lados de 20 cm tiene una densidad de 28 boquillas por m<sup>2</sup> para dar un total de 4.9087 m<sup>2</sup>/columna x 28 boquillas/m<sup>2</sup> = 138 boquillas/columna.

La pérdida de carga en el falso fondo en las operaciones de flujo descendente y retrolavado es proporcionada por el fabricante de acuerdo a las figuras 2.3-I, 2.3-II y 2.3-III, presentadas en la tabla 2.3-IX y 2.3-X

Tabla 2.3-IX

**Pérdidas de carga en boquillas Flexkleen Mark III en Filtración**

Caída de presión en boquillas parcialmente obstruidas con medio fino de 0.5 mm a 13 °C			Caída de presión en boquillas no obstruidas a 13 °C		
sp.gr. a 13°C = 0.9994			sp.gr. a 13°C = 0.9994		
Velocidad de filtración gal/minft <sup>2</sup>	Pérdida de carga psi	Pérdida de carga pulg. de agua	Velocidad de filtración gal/minft <sup>2</sup>	Pérdida de carga psi	Pérdida de carga pulg. de agua
3.0	0.083	2.30	3.0	0.036	1.00
4.0	0.108	3.00	4.0	0.054	1.50
5.0	0.180	5.00	5.0	0.069	1.90
6.0	0.209	5.80	6.0	0.079	2.20
7.0	0.252	7.00	7.0	0.090	2.50
8.0	0.306	8.50	8.0	0.141	3.90
9.0	0.353	9.80	9.0	0.155	4.30
10.0	0.397	11.00	10.0	0.180	5.00
11.0	0.487	13.50	11.0	0.216	6.00
12.0	0.534	14.80	12.0	0.252	7.00
13.0	0.613	17.00	13.0	0.288	8.00
14.0	0.685	19.00	14.0	0.343	9.50
15.0	0.811	22.50	15.0	0.379	10.50

Tabla 2.3-IX (Cont.)

**Caída de presión en boquillas Flexkleen para operaciones de retrolavado a 13°C**

s.p. agua a 13°C = 0.9994

Velocidad de filtración gal/minft <sup>2</sup>	Pérdida de carga psi	Pérdida de carga pulg. de agua
10.0	0.252	7.00
15.0	0.523	14.50
20.0	0.775	21.50
25.0	1.262	35.00
30.0	1.803	50.00



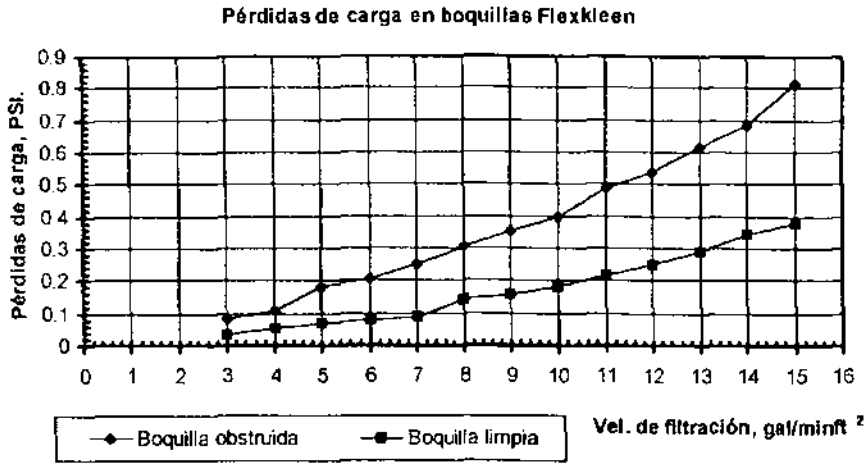


Figura 2.3-I Perdidas de Carga.

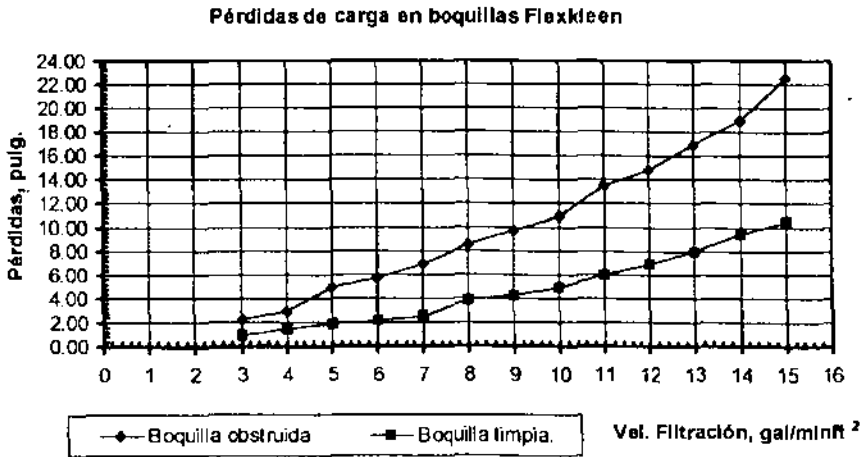


Figura 2.3-II Perdidas de Carga.

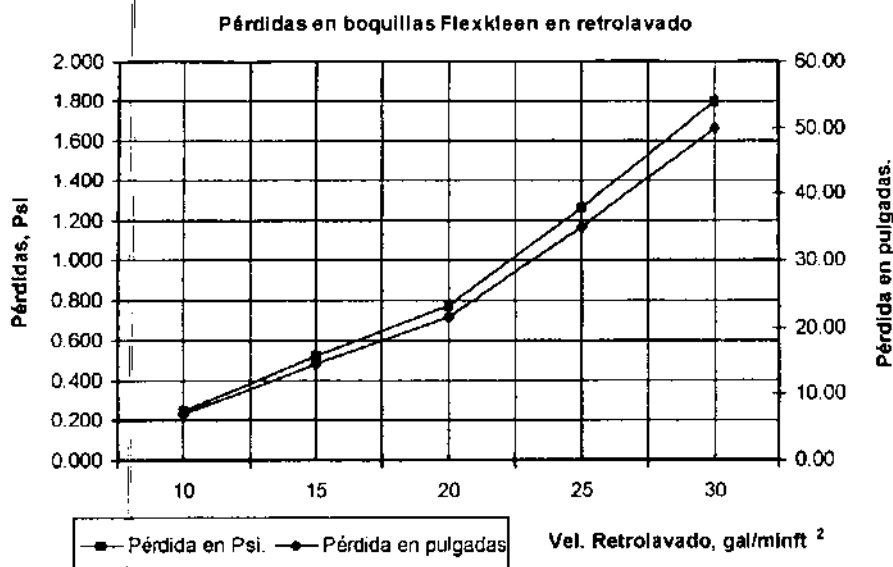


Figura 3.3-III

#### 2.3.4.7 Cálculo de los requerimientos de agua de retrolavado

La operación de retrolavado se llevará a cabo expandiendo el lecho de carbón activado por medio del flujo efluente de los filtros de arena antracita, cuyo caudal cumple con los requerimientos de carga hidráulica superficial de retrolavado para alcanzar una expansión mínima del 30% y una expansión máxima del 50%.

Debido a las características físicas del carbón activado granular fabricado de carbón mineral (coal) no son aplicables los modelos teóricos conocidos para predecir la expansión del lecho con una buena confiabilidad, por lo tanto se recurre a la información experimental para estimar la expansión del lecho, para el carbón activado de concha de coco, la tabla 2.3-X presenta los resultados de los cálculos para el retrolavado, estos se hacen considerando la curva de expansión para diferentes tasas de retrolavado, como lo recomienda la bibliografía especializada.

Para alcanzar la expansión máxima del 50% se requiere una velocidad de retrolavado de 22 gal/minft<sup>2</sup>, la expansión del 30% es la necesaria para alcanzar la fluidización del lecho de carbón activado a una velocidad de retrolavado de 17.2 gal/minft<sup>2</sup> y efectuar el transporte hidráulico cuando es necesario regenerarlo y por lo tanto la operación de retrolavado gobierna la capacidad de la bomba, sin embargo esta bomba deberá tener la flexibilidad de variar el flujo de retrolavado de 16.83 a 22 gal/minft<sup>2</sup>.

Tabla 2.3-X  
Expansión del lecho del carbón activado

Velocidad de retrolavado, gal/minft <sup>2</sup>	Qw/filtro gal/min	% Expansión del lecho	Altura del lecho expandido, ft.	
			m	ft
8	422.64	8	5.5543	18.22
12	633.97	15	5.914	19.404
16	845.29	25	6.4286	21.10
<b>16.83</b>	<b>889.3</b>	<b>30</b>	<b>6.077</b>	<b>19.94</b>
20	1056.62	40	6.545	21.47
22	1162.28	50	7.01	23.00

De acuerdo a la tabla anterior, el caudal de retrolavado será de 889.3 gal/min.

Por lo tanto, si proponemos un diámetro comercial de 10" (pulgadas) = 0.254 m, la velocidad en el área del tubo será:

De la ecuación 2.3-X;

$A = 0.05067 \text{ m}^2$  de tubo de retrolavado.

$$V_{ret} = Q_{ret} / A_{retr.}$$

$$V_{ret} = (0.051 \text{ m}^3/\text{s}) / 0.05067 \text{ m}^2 = 1.01 \text{ m/s.}$$

Para un tiempo de retrolavado de 15 minutos:

$$T_{retrolavado} = 15 \text{ min.}$$

$$Q_{retrolavado} = 3.06 \text{ m}^3/\text{min.}$$

#### 2.3.4.8 Carga y evacuación del carbón activado a filtros

El equipo de carga y evacuación es una parte complementaria sumamente importante de los sistemas de filtros de carbón activado, una vez que la capacidad adsorbente del carbón ha sido disminuido (se ha alcanzado el equilibrio de adsorción) la calidad del efluente se deteriora y es necesario regenerar o reponer el lecho filtrante.

$$\text{Vol.}_{retr} = Q_{retr.} (T_{retr.}) = (0.051 \text{ m}^3/\text{s}) (900 \text{ s}) = 61.2 \text{ m}^3.$$

Para el caso de la planta potabilizadora Tulyehualco 5, el carbón agotado se repondrá con una carga de carbón activado el cual se almacenará en un área de estiba para super - sacos de 1000 lbs, el carbón agotado será evacuado del filtro en particular y almacenado en tambos de 200 litros para su envío a regeneración en las instalaciones del fabricante, el carbón activado fresco deberá ser enviado a la planta en supersacos de 1000 lb y será vaciado manualmente en el filtro. Para elevar los supersacos hasta la boquilla de carga el proveedor dispondrá de un polipasto eléctrico para ejecutar la operación de empaque en cada filtro de carbón activado.

Tabla 2.3-XI  
Cuadro comparativo de diferentes tipos de carbón activado

MARCA	UNID.	CARBÓN BITUMINOSO			LIGNITA		
		CALGON		NOBRAC	SAMCHULLY		CLARIMEX
		FILTRASORES					
PAÍS DE ORIGEN		USA	USA	MEXICO	COREA	COREA	MEXICO
TIPO DE CARBÓN		100	200	GAMA	SLW-100	SLW-200	CAGA
MATERIA		Carbón bituminoso	Carbón bituminoso	Carbón bituminoso	Lignita	Lignita	Lignita
DENSIDAD APARENTE	gr/ml			0.45 - 0.50	0.45 - 0.55	0.40 - 0.50	0.38
GRANULOMETRÍA		8 x 30	14 x 40	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30
TAMAÑO PARTICULAR	mm	0.8 - 1.0	0.55 - 0.75				
Nº. DE DUREZA	%			85 min	85 min	90 min	
HUMEDAD	%	2	2	4	5.0 max	5.0 max	4
MATERIAL VOLÁTIL	%				3.0 max	3.0 max	
CENIZAS	%	6	5	8	5.0 max	5.0 max	
ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	Mz/g	850 - 900	850 - 900		800 min	900 min	650
VOL. DE PORO TOTAL	cc/g				0.8 - 0.9	0.9 - 1.0	0.95
RADIO PORO MEDIO	Å			10.6	17 - 30	17 - 30	
CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE IODO	mg/g	850 min	850 min	800	850 min	900 min	650
CAPACIDAD DE ADSORCIÓN	%						
ADSORCIÓN EN BENZENO	%						
pH				8.5 - 10.5			5.0 - 6.0
RANGO DE MALLA	%						
ADSORCIÓN AZUL DE METILENO	g/100g			22			
DENSIDAD DE PARTICULA DE AGUA	g/cc	1.4 - 1.5	1.4 - 1.5		0.45 - 0.55	0.40 - 0.50	
Nº. DE ADSORCIÓN		75 min	75 min				80
MEDIDA DE MALLA							
ADSORCIÓN EN TETRACLORUROS DE CARBÓN	%						
ACTIVIDAD RELATIVA DE MELAZAS	%						102
Nº. DE MELAZAS							425
ALTURA DE DECLORACIÓN MEDIO	cm						4.6 (8 x 30)
VALOR DE TONINAS	ppm						220
SOLUBLES EN AGUA	%			2 max			
LONG. DE SEDIMENTACION	cm			5			

tabla 2.3-XI  
Cuadro comparativo de diferentes tipos de carbón activado, (cont.)

MARCA	UNID.	CONCHA DE COCO			
		ECON			
PAIS DE ORIGEN		FILIPINAS	FILIPINAS	FILIPINAS	FILIPINAS
TIPO DE CARBON		I	II	III	IV
MATERIA		Concha de coco	Concha de coco	Concha de coco	Concha de coco
DENSIDAD APARENTE	gr/ml	0.48 - 0.52	0.47 - 0.51	0.46 - 0.5	0.45 - 0.49
GRANULOMETRIA					
TAMAÑO PARTICULAR	mm				
No. DE DUREZA	%	95 min	95 min	95 min	95 min
HUMEDAD	%	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
MATERIAL VOLATIL	%				
CENIZAS	%	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5
AREA SUPERFICIAL TOTAL	M <sup>2</sup> /g	900	1000	1100	1200
VOL. DE PORO TOTAL	cc/g				
RADIO PORO MEDIO	Å				
CAPACIDAD DE ADSORCION DE IODO	mg/g	900 - 975	975 - 1050	1050 - 1150	1150 - 1250
CAPACIDAD DE ADSORCION	%	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60
ADSORCION EN BENZENO	%	24 - 26	26 - 29	29 - 32	32 - 35
pH		9.0 - 9.5	9.0 - 9.5	9.0 - 9.5	9.0 - 9.5
RANGO DE MALLA	%	95 min	95 min	95 min	95 min
ADSORCION AZUL DE METILENO	g/100g	14 - 17	16 - 19	18 - 22	21 - 25
DENSIDAD DE PARTICULA DE AGUA	g/cc				
No. DE ADSORCION					
MEDIDA DE MALLA					
ADSORCION EN TETRACLORUROS DE CARBON	%				
ACTIVIDAD RELATIVA DE MELAZAS	%				
No. DE MELAZAS					
ALTURA DE DECLORACION MEDIO	cm				
VALOR DE TONINAS	ppm				
SOLUBLES EN AGUA	%				
LÓNG. DE SEDIMENTACION	cm				

Tabla 2.3-XI  
Cuadro comparativo de diferentes tipos de carbón activado, (cont.)

MARCA	UNID.	CONCHA DE COCO			
		DIACARB	SAMCHLLY		WINOCHEN
PAIS DE ORIGEN		TAIWAN	COREA	COREA	CHINA
TIPO DE CARBON		G-840	SLS-100	SLS-200	GDV
MATERIA		Concha de coco	Concha de coco	Concha de coco	Concha de coco
DENSIDAD APARENTE	gr/ml		0.45 - 0.55	0.40 - 0.5	
GRANULOMETRÍA		8 x 30	8 x 30	8 x 30	
TAMAÑO PARTICULAR	mm				10 - 28
No. DE DUREZA	%	> 95	95 min	95 min	90 min
HUMEDAD	%	< 3.0	5.0 max	5.0 max	5.0 max
MATERIAL VOLATIL	%		3	3.0 max	
CENIZAS	%	< 3.0	5	5.0 max	
ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	Mz/g	1050 min	1100 min	1200 min	1000 - 1200
VOL. DE PORO TOTAL	cc/g		0.6 - 0.8	0.6 - 0.9	0.9
RADIO PORO MEDIO	Å		13 - 20	15 - 20	
CAPACIDAD DE ADSORCION DE IODO	mg/g	1050	1100 min	1100 min	1000 min
CAPACIDAD DE ADSORCION	%				
ADSORCION EN BÉNZENO	%	35 min	40 min		
pH					5.0 - 8.0
RANGO DE MALLA	%				
ADSORCION AZUL DE METILENO	g/100g				
DENSIDAD DE PARTICULA DE AGUA	g/cc	0.44 - 0.052	0.40 - 0.45	0.40 - 0.45	0.9
No. DE ADSORCION					
MEDIDA DE MALLA					
ADSORCION EN TÉTRACLORUROS DE CARBON	%				60 - 65
ACTIVIDAD RELATIVA DE MELAZAS	%				
No. DE MELAZAS					
ALTURA DE DECLORACION MEDIO	cm				
VALOR DE TONINAS	ppm				
SOLUBLES EN AGUA	%				
LONG. DE SEDIMENTACION	cm				

Tabla 2.3-XI  
Cuadro comparativo de diferentes tipos de carbón activado, (cont.)

MARCA	CONCHA DE COCO			
		WATER	LURGI	ACTIVE
	UNID.	QUALITY		LIMITED
PAIS DE ORIGEN		USA	ALEMANIA	USA
TIPO DE CARBÓN		Cartucho	Hidrofin	
MATERIA		Concha de coco	Concha de coco	Concha de coco
DENSIDAD APARENTE	gr/ml			0.5 - 0.52
GRANULOMETRIA		20 x 50	12 x 40	8 x 30
TAMAÑO PARTICULAR	mm		0.5 - 1.6	
No. DE DUREZA	%	98 min		98.5 min
HUMEDAD	%	4.0 max	< 10	4.0 max
MATERIAL VOLATIL	%			
CENIZAS	%	2.0 - 4.0		3.0 max
AREA SUPERFICIAL TOTAL	Mz/g	1150 - 1200	900 +/- 50	
VOL. DE PORO TOTAL	cc/g			0.6 - 0.62
RADIO PORO MEDIO	A			
CAPACIDAD DE ADSORCION DE IODO	mg/g	1200	900 +/- 50	1050 - 1100
CAPACIDAD DE ADSORCION	%			
ADSORCION EN BENZENO	%			
pH				8.5 - 9.0
RANGO DE MALLA	%			
ADSORCION AZUL DE METILENO	g/100g			
DENSIDAD DE PARTICULA DE AGUA	g/cc	0.50 - 0.52		
No. DE ADSORCION				
MEDIDA DE MALLA				
ADSORCION EN TETRACLORUROS DE CARBON	%			
ACTIVIDAD RELATIVA DE MELAZAS	%			
No. DE MELAZAS				
ALTURA DE DECLORACION MEDIO	cm			
VALOR DE TONINAS	ppm			
SOLUBLES EN AGUA	%			
LONG. DE SEDIMENTACION	cm			

Tabla 2.3-XI  
Cuadro comparativo de diferentes tipos de carbón activado, (cont.)

MARCA	CONCHA DE COCO		
	UNID.	NOBRAC	
PAIS DE ORIGEN			MEXICO
TIPO DE CARBON		Micro 9	Declor.
MATERIA		Concha de coco	Concha de coco
DENSIDAD APARENTE	gr/ml	98	0.52 - 0.58
GRANULOMETRIA		8 x 30	8 x 30
TAMANO PARTICULAR	mm		
No. DE DUREZA	%		98 min
HUMEDAD	%	4	4
MATERIAL VOLATIL	%		
CENIZAS	%	4	4
AREA SUPERFICIAL TOTAL	Mz/g		
VOL. DE PORO TOTAL	cm <sup>3</sup> /g		
RADIO PORO MEDIO	A	7.8	7.8
CAPACIDAD DE ADSORCION DE IODO	mg/g	900	700
CAPACIDAD DE ADSORCION	%		
ADSORCION EN BENZENO	%		
pH		8.0 - 9.5	8.0 - 9.5
RANGO DE MALLA	%		
ADSORCION AZUL DE METILENO	g/100g		
DENSIDAD DE PARTICULA DE AGUA	g/cm <sup>3</sup>		
No. DE ADSORCION			
MEDIDA DE MALLA			
ADSORCION EN TETRACLORUROS DE CARBON	%		
ACTIVIDAD RELATIVA DE MELAZAS	%		
No. DE MELAZAS			
ALTURA DE DECLORACION MEDIO	cm		
VALOR DE TONINAS	ppm		
SOLUBLES EN AGUA	%	2	2
LONG. DE SEDIMENTACION	cm	6	6



**2.4**

**DESINFECCIÓN**

## 2.4 Desinfección

### 2.4.1 Introducción

La desinfección del agua es, sin duda, el arma más poderosa que puedan utilizar las autoridades encargadas de la sanidad y el control de las aguas en contra de las infecciones hídricas.

Dentro de los propósitos principales del proceso se encuentran: primero, proporcionar el cloro residual que garantice la calidad del agua a lo largo del recorrido de la red de distribución al usuario, segundo, el de prevenir la transmisión directa de las enfermedades al hombre a través del agua y finalmente romper la cadena de enfermedades e infecciones al destruir a los agentes infectantes responsables. Por lo anterior es necesario suministrar al agua de proceso una cantidad adecuada de desinfectante. Se considera que un residual de cloro de 0.5 mg/l es adecuado para asegurar la calidad bacteriológica para un flujo máximo de 56.1 l/s de agua potable de acuerdo a los flujos establecidos en las bases de diseño.

El agua puede ser desinfectada en una serie de formas categóricas. Entre las más prácticas de ellas están el calor, la elevación de la temperatura del agua hasta su punto de ebullición le proporcionara la desinfección. La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. La irradiación de la luz ultravioleta intensifica la desinfección y la convierte en un agente controlable.

Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son: 1) agentes químicos; 2) agentes físicos; 3) medios mecánicos, y 4) radiación.

Los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen: I) cloro y sus compuestos; II) el bromo; III) el yodo; IV) el ozono; V) el fenol y los compuestos fenólicos; VI) los alcoholes; VII) los metales pesados y compuestos afines, VIII) los colorantes; 9) los jabones; 10) los compuestos amoniacales cuaternarios; 11) el agua oxigenada, y 12) los álcalis diversos.

Los desinfectantes corrientes son los productos químicos en exposición al agua durante un lapso suficiente y en concentraciones adecuadas da como resultado una buena desinfección. Entre los productos químicos oxidantes se encuentran los halógenos - cloro, bromo, y yodo-, ozono, permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno. Entre los halógenos, el gas cloro y una serie de compuestos del cloro como los hipocloritos, son los más útiles económicamente aunque el gas cloro ha presentado problemas relativos a su manejo en áreas densamente habitadas, por lo que se exigen medidas extremas de seguridad en el manejo de este elemento químico, así como en el transporte de los contenedores, estos problemas pueden ser superados considerando la alternativa de desinfección con hipocloritos, de los cuales el hipoclorito de sodio se puede almacenar en el sitio de consumo. El bromo se emplea en escala limitada para la desinfección de aguas de albercas; el yodo se utiliza para la desinfección de piscinas y de pequeñas cantidades de agua potable en el campo, el ozono es un buen desinfectante pero relativamente costoso, su habilidad radica en destruir una serie de olores desagradables y blanquear el color en forma aceptable. El permanganato de potasio también es un desinfectante relativamente caro, mientras que el peróxido de hidrógeno es un desinfectante fuerte pero poco eficiente debido a su inestabilidad.

Otros desinfectantes químicos utilizados son:

- ❖ Iones metálicos: plata y cobre.
- ❖ Alcalis y ácidos.
- ❖ Productos químicos tensoactivos: Detergentes catiónicos y aniónicos.

En conclusión se puede decir que para la desinfección rutinaria de aguas municipales e industriales, así como en los procesos de potabilización, solo un producto químico (el cloro) es tan eficiente como razonablemente barato; un segundo (el ozono) es eficiente pero relativamente caro y no es lo suficientemente persistente para fines de indicación, y un tercero (el calor) es relativamente más costoso y además carece de propiedades indicadores.

Para el caso específico de la planta potabilizadora Tulyehualco-5, el proceso de desinfección utilizará una solución de hipoclorito de sodio al 12.5 % en peso. El hipoclorito de sodio puede obtenerse comercialmente a una concentración de 12 % a 15 % de cloro disponible equivalente, las propiedades físicas y estabilidad del hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones pueden ser consultadas en el apartado 2.1 del presente capítulo.

#### 2.4.2 Diseño de proceso

Normalmente la eficiencia de desinfección se evalúa de acuerdo al NMP/100 ml (número más probable de organismos coliformes totales por 100 ml 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 mediante la siguiente ecuación:

$$dY/dt = -KYt \quad 2.4-I$$

Integrando esta ecuación y cambiando a base 10:

$$t^2 = (2/k) \log (Y_0/Y) \quad 2.4-II$$

A un pH = 7.85 el valor de k para el cloro es de  $6.02 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  cuando se aplica a microorganismos coliformes, reorganizando y considerando la eficiencia de la desinfección como una magnitud relativa definida por:

$$\%e = 100 * [(Y_0 - Y) / Y_0] \quad 2.4-III$$

El tiempo de contacto para lograr una eficiencia de desinfección requerida está dado por:

$$t^2 = (2/k) \log [1/(1-e)] \quad 2.4-IV$$

Donde el tiempo de contacto está en segundos.

Para una eficiencia de desinfección del 99.99% y considerando que únicamente se tendrá cloro residual libre, el tiempo de contacto será de:

$$t^2 = (2/k) \log (1-0.9999), \text{ donde } t \text{ viene dado en min.}$$

Considérese  $t = 15$  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 cloración.

### 2.4.3 Dosis de cloración

La dosis de cloro requerida para la desinfección varía de acuerdo con la calidad del agua a ser tratada, de acuerdo a las recomendaciones dadas por la bibliografía especializada, es de 6 mg/l en promedio sin embargo la dosis a ser usada en la planta Tulyehualco 5 estará definida únicamente por la cantidad de cloro necesario para mantener un residual de 0.5 mg/l máximo, sin embargo para tener flexibilidad en la selección de la dosis de hipoclorito, se diseñará el equipo para dosificar un máximo de 3 mg/l de hipoclorito equivalente, previniendo que eventualmente el equipo de cloración para desinfección pudiera salir fuera de servicio, lo que proporcionará un margen de seguridad para seguir manteniendo la calidad bacteriológica del agua.

### 2.4.4 Cálculo de la capacidad de las bombas dosificadoras de hipoclorito de sodio

La capacidad del equipo puede ser calculado por:

$$[\text{Kg/d}] \text{ como NaOCl} = 0.0864 \times Q_D, [\text{l/s}] \times \text{Dosificación máxima, } [\text{mg/l}] \quad 2.4-V$$

$$[\text{Kg/d}] \text{ como NaOCl} = 0.0864 \times 56.1 [\text{l/s}] \times 3.0, [\text{mg/l}] = 14.54$$

Considérese la dosificación del hipoclorito a una concentración comercial del 12.5 %, de tal manera que.

$$\text{Kg/d de solución NaOCl al 12.5\%} = [\text{Kg/d}]_{\text{NaOCl}} / [\text{NaClO}] \quad 2.4-VI$$

$$\text{De donde: } 14.54 / 0.125 = 116.32896 \approx 116.332$$

Por lo tanto el gasto requerido de solución de hipoclorito de sodio al 12.5 % es:

$$\text{Densidad relativa } \rho_{\text{NaClO}} @ 20^\circ\text{C} = 1.2 \text{ Kg/l} = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{NaClO}} = m/V \Rightarrow V = m/\rho \quad 2.4-VII$$

$$V = 116.33 \text{ Kg/día} / 1200 \text{ Kg/m}^3 = 0.09694 \text{ m}^3/\text{día} \approx 0.097 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$= 4.0392 \text{ l/h} = 1.067 \text{ gal/h, caudal máximo que se inyecta.}$$

Del catálogo de datos técnicos para bombas dosificadoras MARCA "WALLACE AND TIERNAN - SERIE 44", la capacidad de selección de bombas dosificadoras es:  $4.0392/0.6 = 6.73 \text{ l/h}$  (1.778 gal/h).

Se deberán considerar dos bombas dosificadoras del tipo soluciones suaves con intervalos de capacidad de 3.8 a 20.8 l/h. Una bomba se encontrará en relevo con una presión de descarga de 10.5 kg/cm<sup>2</sup> (manométrica), Motor de 0.25 HP, modelo 44-1Y2.

#### 2.4.5 Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio

La capacidad del tanque dosificador de hipoclorito de sodio se determinará a partir de la dosis máxima para la etapa de cloración y para la etapa de desinfección, considerando una capacidad para dos días de suministro continuo por lo tanto:

$$\text{Capacidad nominal del tanque} = \frac{(\text{vol. requerido para cloración}) + (\text{vol. requerido para desinfección}) \times 2 \text{ días}}{2.4-VIII}$$

$$\text{Vol} = 0.05854 \text{ m}^3/\text{día} + 0.0967 \text{ m}^3/\text{día} \times 2 \text{ días} = 0.31048 \text{ m}^3 = 310.48 \text{ l} \\ = 82.02 \text{ gal.}$$

De datos de tanques estándar selecciónese un tanque de material de plástico, reforzado con fibra de vidrio, con una capacidad nominal de tanque de 330 Gal, tipo fondo torisférica, cuyas dimensiones son:

1.0668 m de diámetro x 1.2192 m de altura, tangente - tangente, es decir, 42" x 48" t-t

De las recomendaciones se observa que el tanque puede ser utilizado para almacenar una cantidad equivalente a 8 días de suministro continuo

#### 2.4.6 Control de la dosificación de hipoclorito de sodio

El control de la dosificación para mantener un residual de cloro adecuado en el agua es de primordial importancia, debido a la necesidad de mantener un control riguroso en la remoción del manganeso y en la desinfección.

El método propuesto para controlar la dosificación es un Sistema de Control Automático, en el cual, un analizador de cloro residual ubicado en los puntos estratégicos del proceso enviará una señal al actuador, el cual, deberá regular el flujo de descarga de la bomba dosificadora, modificando automáticamente las pulsaciones / min o la amplitud de la carrera, para ajustar el gasto de reactivo suministrado y por tanto la concentración del cloro residual en el efluente de la etapa de proceso correspondiente.

#### 2.4.7 Diseño del tanque de cloración

Consideraciones:

- ❖ Tipo de flujo: Tapón.
- ❖ Relación largo - ancho: mínimo 10.
- ❖ Área superficial: la máxima disponible.

Floculadores hidráulicos (de tabiques)

Los floculadores hidráulicos derivan su energía, para la agitación de la masa líquida, de la carga de la velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Estos 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.

Normalmente estos floculadores son de flujo horizontal y vertical. En los floculadores de flujo horizontal, el flujo va y viene al rededor de los tabiques haciendo un

giro de 180° al final de cada uno, y en los de flujo vertical el flujo sube y baja en condiciones similares. En ambos casos se produce una pérdida de carga  $h_f$ , provocada por:

- Cambio de dirección y turbulencia  $h''$ .
- Ensanchamiento y contracción de la sección  $h'''$ .
- Fricción en los tramos rectos  $h_2$ .

Sumando las pérdidas de carga producidas encontramos una pérdida de carga global, es decir;  $h' + h'' + h_2 = \Delta h_{\text{global}}$  2.4-IX

Generalmente  $G$  promedio en floculadores de pantalla varía entre 60 y 100  $s^{-1}$  y más frecuentemente entre 20 y 60  $s^{-1}$

Como ejemplo a lo anterior se tiene que a una velocidad de 60 cm/s, el gradiente de velocidad en los tramos rectos es de solo 22  $s^{-1}$ , mientras que en las pantallas de los tabiques puede alcanzar hasta 600  $s^{-1}$  para una pendiente hidráulica del 5.5 %. Por ello es conveniente disminuir la velocidad del agua en los giros de 180° del flujo para evaluar la ruptura del floc, por tal motivo, velocidades no mayores de 15 cm/s son aconsejables.

El tanque de cloración deberá ser diseñado para obtener una máxima eficiencia de contacto entre el desinfectante y los microorganismos a ser destruidos. Por lo tanto, 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 de contacto con cloro, White [Ref. 2] ha sumariado los siguientes factores como los principales que afectan el diseño de la cámara:

- ❖ Profundidad del tanque en relación con 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.

Con base en 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 Tulyehualco 5 el tanque de contacto de cloro deberá ser cerrado.
- Las cámaras rectangulares con mamparas longitudinales darán la mejor aproximación al flujo tapón.
- Diseñar cámaras con altas relaciones Largo: ancho mayores de 10:1 suministran una distribución del tiempo de residencia con un valor que se aproxima entre el 75 y el 85 % del tiempo de residencia hidráulico
- El tiempo de contacto deberá ser el necesario para garantizar la desinfección requerida.

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.

## 2.4.8 Dimensionamiento de la cámara de contacto

### 2.4.8.1 Cálculos de diseño

Flujo Máximo de diseño: 56.1 lps = 3.3662 m<sup>3</sup>/min

Flujo promedio: 51 lps = 3.06 m<sup>3</sup>/min

Tiempo de contacto = 15 min. @ flujo máximo

Volumen de la cámara de contacto

$$\text{Vol.} = 3.36 \text{ m}^3/\text{min} \times 15 \text{ min} = 50.4 \text{ m}^3 \quad 2.4-X$$

Las dimensiones propuestas para el tanque de cloración serán:

Velocidad de diseño;  $v_{\text{diseño}} = 2.5 \text{ m/min.}$

$$\text{Area de flujo; } A_f = Q_{\text{máx.}}/v_{\text{diseño}} = 1.344 \text{ m}^2. \quad 2.4-XI$$

Considere que el ancho de canal  $w = \text{Tirante de agua} / 2. \quad 2.4-XII$

Por lo tanto:

$$\text{Si; } A_f = 2 w^2 \Rightarrow w = (A_f/2)^{1/2}. \quad 2.4-XIII$$

$W$ ; ancho de canal = 0.82 m.

Altura de agua;  $2 w = 1.64 \text{ m}$ , nivel máximo de agua. 2.4-XIV

considérese además un bordo libre de 0.50 cm

Entonces, a partir de la siguiente relación:

$$L \times W \times h = \text{Vol.} \quad 2.4-XV$$

El área disponible en la planta es:

$$L = 6 \text{ m y } W = 4 \text{ m}$$

Estas dimensiones son consideradas únicamente para el contacto del agua y el desinfectante. Por otro lado, para garantizar un mezclado uniforme entre el agua y el hipoclorito de sodio se propone implementar un tanque de mezcla rápida con las siguientes dimensiones:

Tiempo de retención;  $t_{\text{ret}} = 0.5 \text{ min.}$

$$\text{Vol.} = 0.336 \text{ m}^3 / \text{min.} \times 0.5 \text{ min.} = 1.68 \text{ m}^3.$$

$$\text{Longitud; } L = 1.68 / (0.82 \times 1.64) = 1.25 \text{ m.}$$

$$L \text{ total de canales del tanque} = \text{Vol.}_{\text{tot}} / h \times w. \quad 2.4-XVI$$

$$L_{\text{tot}} = 50.4 \text{ m}^3 / (0.82 \text{ m} \times 1.64 \text{ m}) = 37.5 \text{ m}$$

Considérense 4 canales cuyas dimensiones son.

$$L_{\text{canal}} = 37.5 / 4 = 9.4 \text{ m.}$$

2.4-XVII

Ancho = 0.82 m.

Altura = 2.14 m,

Considérense muros de 0.20 m y un bordo libre de 50 cm

Por lo tanto la relación  $l \times w \times h = \text{Vol.}$  será:

$$9.4 \times 3.28 \times 1.64 = 50.5 \text{ m}^3$$

Con base en las recomendaciones anteriores y para aproximarse a las condiciones de flujo tapón, se hacen las siguientes consideraciones;

- Ancho de canal  $W = 0.82 \text{ m.}$
- Número de mamparas longitudinales; considerense 3.
- Número de canales; considerense 4.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la relación efectiva  $L / W$  total es de  $37.5 \text{ m} / 0.82 = 45.7 > 10$ .

Por lo tanto y con base en lo anterior, para una velocidad de  $3.06 \text{ m}^3 / \text{min}$  el flujo circulante será de  $2.275 \text{ m} / \text{min}$ .

#### 2.4.8.2 Diseño hidráulico de la estructura del influente

Para suministrar una zona de mezclado rápido, el difusor de la solución de hipoclorito se encontrará inmediatamente antes de la zona de turbulencia y antes de entrar a la zona de flujo tapón.

Los trabajos experimentales parecen indicar que las diferencias de esta zona pueden producir una variación en la reducción de coliformes que pueden producir diferencias de hasta dos escalas logarítmicas, White señala que la zona de mezclado o dispositivo deberá ser capaz de homogenizar la solución de cloro y el agua en fracción de segundos, por supuesto en condiciones ideales.

Trabajos experimentales realizados por la compañía Mixing Equipment en los E.U.A indican que en la práctica el mezclado completo se lleva a cabo entre 1 y 3 segundos después de efectuarse el contacto y depende del tipo y forma del dispositivo de mezclado

El diseño adecuado de la zona de mezcla rápida puede ser evaluado por medio del concepto de gradiente de velocidad ( $G$ ) el cual dará una indicación cuantitativa de la operación de mezclado rápido.

Varios parámetros han sido utilizados para evaluar el funcionamiento de esta zona. White recomienda que para el parámetro "G" se encuentre cercano a 1000 para considerar que el mezclado es excelente, sin embargo otros investigadores han usado arbitrariamente valores de 450 a 550.



Para llevar a cabo con éxito el mezclado del difusor de solución de hipoclorito se deberá localizar en una zona con velocidad promedio tal que el tiempo de mezclado sea menor a 3 s.

El gradiente medio de velocidad se define según Camp [Ref 2].

$$G^2 = P/\mu \quad 2.4\text{-XVIII}$$

La estructura del influente se diseñará con el concepto de orificio sumergido, se diseñará una pared de difusión del tipo orificios sumergidos para un gradiente de velocidad de 500 a 1000 s<sup>-1</sup>, en los orificios sumergidos de la pared de difusión el gradiente de velocidad será evaluado por la expresión:

$$G = [(p f Q_0^3) / (4\mu A_0^3 Rh)]^{1/6} \quad 2.4\text{-XIX}$$

Donde:

f; factor de fricción del orificio, donde, de información bibliográfica, @ flujo completamente turbulento, f = 0.022.

A la temperatura de 20 °C las propiedades físicas del agua son:

$$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3.$$

$$\mu = 0.00101 \text{ kg/m s}.$$

La pared de difusión deberá ser diseñada con una velocidad neta de flujo a través de los orificios de alrededor de 1 a 1.5 m/s y para producir una pérdida de carga de 3 a 4 pulg de agua (7.6 a 10.2 cm de agua)

La pérdida de carga a través de los orificios se calculará con la ecuación clásica:

$$Q = C_0 A_0 (2gh_0)^{1/2} \quad 2.4\text{-XXI}$$

$$Q_0 = Q / \eta_0 \quad 2.4\text{-XXII}$$

$$V_0 = Q_0 / A_0 \quad 2.4\text{-XXIII}$$

donde:

- ❖ Q<sub>0</sub>: Flujo a través del orificio, m<sup>3</sup> /s.
- ❖ A<sub>0</sub>: Área del orificio, m<sup>2</sup>.
- ❖ η<sub>0</sub>: Número de orificios en la pared de difusión.
- ❖ C<sub>0</sub>: Coeficiente de orificios, 0.61.
- ❖ h<sub>0</sub>: Pérdida de carga, m.c.a.

De recomendación bibliográfica, considerar 4 orificios cuadrados de 0.16 m X 0.16 m.

dónde:

$$\text{Área de flujo del orificio, } A_0 = 1 \times 1 \quad 2.4\text{-XXIV}$$

$$A_0 = 0.0256 \text{ m}^2$$

Flujo por orificio,  $Q_0 = Q_p / N_{\text{Orificios}}$ .

$$Q_0 = (0.051 \text{ m}^3/\text{s})/4 = 0.01275 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la ecuación 2.4.XXIII,

Velocidad en el orificio,  $v_0 = Q_0 / A_0$ .

$$v_0 = 0.01275 \text{ m}^3 / \text{seg.} / 0.0256 \text{ m}^2 = 0.4980 \text{ m/s}$$

De la ecuación 2.4-XXI

$$\text{Pérdida de carga, } h_0 = 1/(2g) [Q_0/(C_d A_0)]^2$$

$$h_0 = (2 \times 9.81)^{-1} [0.013/(0.61 \times 0.0115)]^2 = 0.175$$

De la ecuación 2.4-XIX;

$$\text{Gradiente de velocidad: } G = \{[\rho g f Q_0^3] / (4\mu A_0^3 Rh)\}^{1/2}$$

Donde:

$$Rh = 0.0256/[2(0.16) + 2(0.16)] = 0.04 \text{ m.}$$

2.4-XXV

$$G = \{(998.2 \times 9.81 \times 0.022 \times 2.197 \times 10^{-6}) / (4 \times 1.01 \times 10^{-3} \times 1.52 \times 10^{-6} \times 0.02674)\}^{1/2}$$

$$G = 129 \text{ seg}^{-1}$$

En forma similar se hace el cálculo considerando el flujo máximo:

Pérdida de carga a flujo máximo:

$$Q_0 = (0.0572 \text{ m}^3/\text{s})/4 = 0.014025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad en el orificio,  $v_0$

$$v_0 = 0.014025/0.0256 = 0.547851 \text{ m/s}$$

Pérdida de carga a flujo máximo  $h_0$ :

$$h_0 = (2 \times 9.81)^{-1} [0.014025/(0.61 \times 0.0256)]^2 = 0.04111186 \text{ m.c.a.}$$

Bajo estos criterios la pared de difusión tendrá cuatro orificios sumergidos de 0.16 x 0.16 m, produciendo una pérdida de carga de 17.5 y 21.18 cm.c.a y un gradiente  $G \geq 129 \text{ s}^{-1}$ , con lo cual se asegura una mezcla de hipoclorito entre el caudal de agua influente y la solución de hipoclorito en la cámara de mezclado.

#### 2.4.8.3 Diseño hidráulico de la estructura del effluente

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

Para calcular la carga sobre un vertedor rectangular se empleará la siguiente expresión:

$$Q = 1.838 (L - 0.2H) H^{3/2}$$

2.4-XXVI

Donde:

- ❖ Q: flujo,  $\text{m}^3/\text{s}$ .
- ❖ L: Longitud total del vertedor, m.
- ❖ H: Carga sobre el vertedor.

Resolviendo por iteración para la carga del vertedor, considerando una longitud de cresta de 0.62 m se obtienen los siguientes resultados tanto para el flujo máximo como para el flujo promedio:

L, m	H, m	Q, $\text{m}^3/\text{s}$
0.62	0.130	0.051
0.62	0.140	0.0561

Por lo que se considerará un vertedor con una longitud de cresta de 0.62 m cuya carga a 51 l/s es de 13 cm y a 56.1 l/s es de 14 cm.

#### 2.4.9 Dimensionamiento del cárcamo de bombeo de agua potable

El cárcamo de bombeo hacia la red de distribución municipal fue dimensionado para un tiempo de retención de 8 min, más el caudal necesario para el retrolavado (cada 20 días) de una columna de adsorción durante un tiempo de 15 min; por lo tanto:

$$\text{Volumen del cárcamo, } V = t_r \times Q_{\text{máx}} \quad 2.4\text{-XXVII}$$

$$V = 3.366 \text{ m}^3/\text{min} \times 8 \text{ min} = 26.93 \text{ m}^3$$

Con base al área disponible en el predio:

$$L = 5.0 \text{ m.}$$

$$W = 4.0 \text{ m.}$$

$$\text{De la relación; } L \times W \times h = 26.93 \text{ m}^3.$$

Despejando h tenemos:

$$h = 26.93 \text{ m}^3 / 5.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} = 1.346 \text{ m.} \quad 2.4\text{-XXVIII}$$

Pero se requiere un volumen de  $50.7 \text{ m}^3$ , para el retrolavado de una columna de adsorción por lo que ahora la relación,  $L \times W \times h = 26.93 \text{ m}^3 + 50.7 \text{ m}^3 = 77.63 \text{ m}^3$ .

Por lo tanto, aplicando la ecuación 2.4-XXVIII al resultado anterior;

$$h = 77.633 \text{ m}^3 / 5.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} = 3.88 \text{ m.} \quad 2.4\text{-XXVIII}$$

Se considera, por lo tanto 3.88 m como nivel máximo de agua mas 1.34 m (como medida de seguridad de la bomba) más un bordo libre de 0.5 m.

De los resultados anteriores se concluye lo siguiente.

La altura total del tanque,  $h = 5.72 \text{ m.}$

El volumen útil el tanque,  $\text{Vol.} = 77.6 \text{ m}^3$ .

Finalmente, se recomienda la instalación dos bombas centrifugas verticales tipo turbina para el bombeo de agua hacia la red de distribución, una de ellas se mantendrá como relevo para garantizar un suministro de agua constante al público usuario.

El equipo de bombeo deberá operar con una presión de descarga mayor a  $1.2 \text{ kg/cm}^2$ .

***CAPITULO 3***

***MEMORIA DE CALCULO DE SERVICIOS AUXILIARES***

### 3 Cálculo Servicios Auxiliares

#### 3.1 Introducción

Las bombas son necesarias en el abastecimiento de agua: 1) cuando la elevación de la fuente es tal que no ocurre por gravedad hasta las líneas o quipos principales, 2) cuando la presión en las líneas principales debe de incrementarse, o 3) cuando se debe elevar de un nivel a otro el agua.

Sobre la base del tipo de servicio, las bombas de obras hidráulicas se pueden clasificar como de pozos profundo o pozo poco profundo, o de alto servicio o baja carga.

En este apartado se presenta un análisis del cálculo de los equipos de bombeo tanto para el sistema de dosificación de reactivo (hipoclorito de sodio) así como del sistema de extracción de agua del pozo y distribución de agua potabilizada a la red de distribución.

Existe una gran variedad de tipos de bombas las cuales, de acuerdo con los principios mecánicos en los que operan, se clasifican en dos tipos: Bombas de desplazamiento positivo y Bombas dinámicas, estas últimas se clasifican en centrífugas o de flujo de salida radial; flujo axial y flujo mixto (entre radial y axial).

Las bombas dinámicas proporcionan generalmente un mayor caudal que las bombas de desplazamiento positivo (BDP), pero son menos efectivas para bombear líquidos muy viscosos. Las bombas dinámicas generalmente necesitan ser cebadas; esto es, si están llenas de aire, no pueden succionar el líquido situado por debajo hasta su entrada.

Tomando en cuenta estas observaciones, los cálculos para este proceso se hicieron considerando bombas de flujo axial y flujo mixto, como se muestra a continuación.

### 3.2 Cálculo de la capacidad de la bomba de extracción del agua de pozo

Para realizar el cálculo del sistema de extracción de agua del pozo se cuenta con siguientes datos de aforo:

Nivel estático: 0 - 22.60 m.

Nivel dinámico: 0 - 23 m.

Rendimiento : 182.70 l/s.

Rendimiento Específico: 30.45 l.s.m.

Gasto de aforo: 51.0 l/s.

Gasto de diseño: 56.1 l/s.

Presión en la brida de descarga: 1.2 kgf/cm<sup>2</sup>

Longitud de la tubería de 10" = 27.10 m.

Altura H: 31.5 m.

Diámetro Ø: 10" = 0.254 m.

#### 3.2.1 Cálculo de la pérdida de carga generada por los accesorios y válvulas en la distribución de caudal de los filtros de arena antracita.

Tubería de entrada y salida: Calibre 40 de 10 pulgadas.

Tuberías de las ramificaciones a, b, c, d: Calibre 40 de 5 pulgadas.

Las ecuaciones disponibles para describir el sistema son:

$$Q_1 = Q_2 = Q_a = Q_b = Q_c = Q_d \quad 3-I$$

$$h_{L1-2} = h_a = h_b = h_c = h_d \quad 3-II$$

La técnica de Henry Cross requiere que los términos de pérdida de carga para cada tubería en el sistema se expresen en la forma:

$$h = k Q^n \quad 3-III$$

Donde K es una resistencia equivalente al flujo para la tubería completa y Q es la velocidad de flujo en la tubería. Debe recordarse que tanto las pérdidas por fricciones como las pérdidas menores son proporcionales a la carga de velocidad. Utilizando la ecuación de continuidad;

$$V = Q/A \quad y \quad 3-IV$$

$$V^2 = Q^2/A^2 \quad 3-V$$

La pérdida de carga en cada rama de la tubería deberá expresarse en la forma:

$$h = K^* Q^2 \quad 3-VI$$

La pérdida de carga total para la rama se debe a la siguiente lista de accesorios y válvulas:

Accesorio	Longitud equivalente (L <sub>e</sub> /D)
2 Válvulas de compuerta	13
2 Tee convencional	20
3 Codos Convencional	30

Por lo tanto:

$$h_a = 2(f_{aT})(13)(v_a^2/2g) + 2(f_{aT})(20)(v_a^2/2g) + 3(f_{aT})(30)(v_a^2/2g) + (f_a)(L_w/D_a)(v_a^2/2g) \quad 3-VII$$

simplificando la ecuación anterior:

$$h_a = (v_a^2/2g) [156f_{aT} + f_a(L_w/D_a)] = (v_a^2/2g) [156f_{aT} + f_a(6.71/0.127)] \quad 3-VIII$$

La longitud en cada una de las ramas de la tubería es  $L = 6.71\text{m}$ , y para la tubería calibre 40 de 5 pulgadas =  $0.127\text{m}$  y  $A = 0.01267\text{m}^2$ . De la tabla 10.5 [pág. 284, Mecánica de fluidos aplicada Robert L. Mott 4ª Edición], se encuentra que el valor de  $f_{aT} = 0.016$  para tubería de acero Calibre 40 de 5 pulgadas con flujo en la zona turbulenta totalmente. El agua a  $20^\circ\text{C}$  tiene una viscosidad cinemática  $\nu = 1.02 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ .

Así, sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (8) y el valor de  $f_{aT}$ :

$$h_a = [2.496 + 52.8346f_a](313.50)Q_a^2 \quad 3-IX$$

Es conveniente expresar el número de Reynolds en términos de la velocidad de flujo de volumen  $Q$ , y calcular el valor de la rugosidad relativa  $(D/\epsilon)$ .

Debido a que las cuatro ramas tienen el mismo tamaño y tipo de tubería, éstos cálculos se aplican a cada rama. Si se utilizaran tuberías diferentes a través de la red, estos cálculos deben hacerse de nuevo para cada tipo de tubería.

Para la tubería de acero de 5 pulgadas.

$$D/\epsilon = \frac{0.127\text{m}}{4.6 \times 10^{-5}\text{m}} = 2760.87$$

El número de Reynolds puede ser modificado en función del caudal y del área:

$$Re_a = \frac{v_a D_a}{\nu} = \frac{Q_a D_a}{A_a \nu} = 8716241.7 Q_a$$

$$Re_a = \underline{8716241.7 Q_a}$$

Dado que las cuatro derivaciones de caudal presentan las mismas características y el caudal que fluirá por cada uno de ellos es  $Q_a = 12.75 \text{ l/s} = 0.01275 \text{ m}^3/\text{s}$

El número de Reynolds será entonces:

$$Re_a = \underline{8716241.7 Q_a} = \underline{111132.08}$$

Para encontrar el factor de fricción  $f_a$ , aplicamos la ecuación desarrollada por Swamee y A.K. Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[ \frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right] \right\}^2} \quad 3-X$$

Sustituyendo datos en la ecuación obtenemos:

$$f = 0.0195.$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 3-IX obtenemos finalmente que:

$$h_a = 0.1796 \text{ m.}$$

Por lo tanto, la pérdida de carga que se genera en los filtros por accesorios y válvulas es de 0.1796 m para cada filtro; si a esto le sumamos la pérdida de carga generada por la corrida de filtración, se tiene que la pérdida de carga total por filtro es de  $0.55 \text{ m} + 0.1796 \text{ m} = 0.7296 \text{ m}$ . Por lo tanto la pérdida de carga total generada en la operación de filtración es de:

$$h_{\text{fil-tot.}} = 2.9184 \text{ m.}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en las columnas de adsorción aplicamos la misma metodología.

Accesorio	Longitud equivalente (Le/D)
2 Válvulas de compuerta	13
2 Tee convencional	20
4 Codos convencionales	30
6 Llaves tipo nariz	18

Aplicamos entonces la ecuación 3-VII para el cálculo de la pérdida de carga en las columnas de adsorción:

$$h_i = 2(f_{1T})(13)(v_1^2/2g) + 2(f_{1T})(20)(v_1^2/2g) + 4(f_{1T})(30)(v_1^2/2g) + 6(f_{1T})(18)(v_1^2/2g) + (f_1)(L_1/D_1)(v_1^2/2g) \quad 3\text{-XI}$$

En este caso el caudal para cada ramificación es  $Q_1 = 25.5 \text{ l/s}$ ; La longitud en cada una de las ramas de la tubería es  $L_1 = 18.7 \text{ m}$ , y para la tubería calibre 40 de 6 pulgadas  $D_1 = 0.1524 \text{ m}$ ;  $A = 0.01842 \text{ m}^2$ ;  $f_{1T} = 0.015$  para la tubería de acero calibre 40 de 6 pulgadas con flujo en la zona totalmente turbulenta.

Como anteriormente simplificamos la ecuación para finalmente llegar a la ecuación:

$$h_i = (4.41 + 122.70f_1)0.0996 \quad 3\text{-XII}$$

Para el cálculo de  $f_1$  se aplica la ecuación (3-X). Antes se debe calcular la rugosidad relativa  $D_1/\epsilon$  y el número de Reynolds en función de la velocidad del caudal:

$$Re = (Q_1 \cdot D_1) / A_1 \cdot v$$

$$D_1/\epsilon = 3313.04$$

$$Re = 208881.58$$

$$\text{el valor de } f_1 = 0.0177$$

$$h_i = (4.41 + 122.70 \cdot 0.0177) 0.0996 = 0.6555 \text{ m.}$$

Por lo tanto la pérdida de carga en las dos columnas de adsorción es:

$$h_{\text{ads-tot.}} = 1.311 \text{ m}$$



Para el cálculo de la potencia de la bomba aplicamos la siguiente metodología:

De la Ecuación de la energía:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \left(\frac{1}{2}V_1\right)^2 + H_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \left(\frac{1}{2}V_2\right)^2 + H_2 + \Delta hf_{1,2} - h_p \quad 3-XIII$$

Como la velocidad asociada al caudal es la misma en el trayecto de la tubería entonces:  $V_1=V_2 \approx 0$ .

Igualmente la presión es la misma en el punto del nivel estático como en el punto de descarga, de tal forma que  $P_1 = P_2 \approx 0$ .

Por lo tanto la ecuación (3-XIII) se convierte en:

$$h_p = (H_2 - H_1) + \Delta hf_{1,2} \quad 3-XIV$$

De la ecuación 3-IV, la velocidad desarrollada por el caudal en la tubería de 10 pulgadas es:

$$V = Q/A = 1.006 \text{ m/s}$$

Para encontrar el coeficiente k de las pérdidas localizadas o pérdidas menores en accesorios se aplica la siguiente ecuación:

$$k = (L_p/D) * f_f \quad 3-XV$$

Donde  $f_f$  es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o unión, y es tomado de la zona de total turbulencia. De esta forma, haciendo una lista de los coeficientes de las pérdidas localizadas o pérdidas menores en accesorios tenemos:

Pérdida	n	$L_p/D$	k	nK
Entrada de bomba	1	7.8	0.105	0.105
Codos de 45° Estándar	2	16	0.224	0.448
Codos de 90° Estándar	3	30	0.420	1.26
Tee Estándar	9	20	0.280	2.52
Válvula de compuerta	4	8	0.112	0.448
Válvula Check (retención)	1	135	1.890	1.89
Llave nariz	1	18	0.288	0.288
Salida	1		1.000	1.0

$$\Sigma nK = 7.959$$

Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = Vd/\nu = 260419.5$$

$$Re = 250513.73$$

La rugosidad del acero comercial es  $\epsilon = 0.046 \text{ mm} = 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}$ .  
 rugosidad relativa  $d/\epsilon = 5521.74$ .

Aplicando la ecuación 3-X calculamos el coeficiente de fricción;

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[ \frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right] \right\}^2} = \underline{0.0165}$$

La tubería de 10 pulgadas tiene una longitud de 27.14 m.

Haciendo el cálculo final de la pérdida de carga desde el punto de succión hasta el punto de descarga tenemos:

$$\Delta h_{f_{12}} = h_{\text{Tot. fnt.}} + h_{\text{ads.-Tot.}} + \left( \frac{fL}{d} + \sum k_i \right) * \frac{V^2}{2g} \quad 3\text{-XVI}$$

$$\Delta h_{f_{12}} = 1.311 + 2.9184 + 0.5011 = \underline{4.73057\text{m}}$$

Aplicando la ecuación 3-XIV tenemos:

$$h_p = H_{\text{altura}} + \Delta h_{f_{12}} = 31.5 + 4.73057 = \underline{36.23\text{m}}$$

$$h_p = \underline{36.23\text{m}}$$

La potencia de la bomba será entonces:

$$P_{\text{ideal}} = \gamma Q h_p \quad 3\text{-XVII}$$

$$= [(9790\text{N/m}^3)(0.051\text{m}^3/\text{s})(36.23\text{m})] = 18089.27 \text{ Nm/s}$$

$$P_{\text{ideal}} = [18089.28 \text{ N.m/s}] / 746 = 24.25 \text{ HP.}$$

Suponiendo una eficiencia real del 75%, la potencia real es:

$$\text{Potencia} = 24.25\text{HP} / 0.75 = 32.33 \text{ HP}$$

**Potencia = 32.33HP**

### 3.3 Cálculo de la capacidad de las bombas dosificadoras de hipoclorito para Oxidación

La capacidad del equipo se determina mediante la siguiente metodología:

La dosis de hipoclorito de sodio,  $Q_{\text{NaOCl}} = 2 \text{ mg/l}$

La densidad del NaOCl,  $\rho_{\text{NaOCl}} = 1.2043 \text{ kg./l}$

El caudal de agua,  $Q_w = 51 \text{ l/s}$

El flujo másico de reactivo,  $\dot{m}$ , es:

$$\dot{m}_{\text{[kg/d]}} = 0.0864 \times Q_w \text{ [l/s]} \times \text{dosificación máxima [mg/l]}$$

$$\dot{m}_{\text{[kg/d]}} = 0.0864 \times 51 \times 2 = 8.8128 \text{ kg/día de NaOCl, (pureza 100\%).}$$

Considerando que se tiene reactivo a una concentración de 12.5 % para máxima estabilidad en almacenamiento, el flujo másico a esta concentración es:

$$\dot{m}_{\text{[kg/d]}} = [8.8124 \text{ kg/día de NaOCl.}] / 0.125 = 70.50 \text{ kg/día al 12.5\%}$$

El flujo volumétrico a esta concentración es:

$$Q_{\text{NaOCl al 12.5\%}} = 70.50 \text{ kg/día} / 1204.3 \text{ kg/m}^3 = 0.05854 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

La capacidad de dosificación a 2 mg/l = 2.44 l/h = 0.644 gal/h.

Del catálogo de fabricante de bombas dosificadoras WALLACE & TIERNAN: la capacidad de selección de las bombas dosificadoras deberá ser,  $0.6444 \text{ gal/h} / 0.6 = 1.074 \text{ gal/h}$  (4.065 l/h). Se deberán considerar dos (2) bombas dosificadoras del tipo diafragma de teflón con una capacidad de 1.2 g/h a 100%, una bomba se encontrará en relevo, las bombas deberán tener una presión de descarga de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> manométrica, motor de 1/4HP.

La capacidad del tanque dosificador de hipoclorito se estima para una capacidad de 5 días de suministro continuo a máxima capacidad de la siguiente forma:

$$5 \text{ días} \times 0.05854 \text{ m}^3/\text{día} = 0.30 \text{ m}^3$$

El cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento de hipoclorito se hará considerando el volumen requerido para la operación de desinfección, por lo tanto los volúmenes de ambas operaciones se sumarán para obtener un volumen total que nos permita dimensionar el tanque que suministrará reactivo para ambos procesos.

### 3.4 Cálculo de la capacidad de las bombas dosificadoras de desinfectante (NaOCl).

La metodología empleada para el cálculo de la capacidad del equipo de suministro de desinfectante a la cámara de contacto es la misma que la utilizada en la etapa de oxidación.

La dosis de hipoclorito de sodio,  $Q_{\text{NaOCl}} = 3 \text{ mg/l}$ .

La densidad del NaOCl,  $\rho_{\text{NaOCl}} = 1.2043 \text{ kg/l}$ .

El caudal de agua,  $Q_w = 51 \text{ l/s}$ .

El flujo másico de reactivo es:

$$\dot{m}_{\text{NaOCl}} [\text{kg/día}] = 0.0864 \times Q_w [\text{l/s}] \times \text{dosificación máxima} [\text{mg/l}]$$

$$\dot{m}_{\text{NaOCl}} [\text{kg/día}] = 0.0864 \times 51 \times 3 = 13.22 \text{ kg/día de NaOCl, (pureza 100\%)}$$

Considerando que se tiene reactivo a una concentración de 12.5 % para máxima estabilidad en almacenamiento, el flujo másico a esta concentración es:

$$\dot{m}_{\text{NaOCl}} [\text{kg/día}] = [13.22 \text{ kg/día de NaOCl.}] / 0.125 = 111.04 \text{ kg/día al 12.5\%}$$

$$\dot{m}_{\text{NaOCl}} = 111.04 \text{ kg/día al 12.5\%}$$

El flujo volumétrico a esta concentración es:

$$Q_{\text{NaOCl al 12.5\%}} = 111.04 \text{ kg/día} / 1204.3 \text{ kg/m}^3 = 0.09220 \text{ m}^3/\text{día}$$

La capacidad de dosificación a 3 mg/l = 3.842 l/h (1.015 gph).

Del catálogo de fabricante de bombas dosificadoras WALLACE & TIERNAN: la capacidad de selección de las bombas dosificadoras deberá ser,  $1.015 \text{ gal/h} / 0.6 = 1.7 \text{ gal/h}$  (6.403 l/h). Se deberán considerar dos (2) bombas dosificadoras del tipo diafragma de teflón con una capacidad de 1.8 gal/h a 100%, una bomba se encontrará en relevo, las bombas deberán tener una presión de descarga de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> manométrica, motor de 1/4HP.

La capacidad del tanque dosificador de hipoclorito se estima para una capacidad de 5 días de suministro continuo a máxima capacidad de la siguiente forma:

$$5 \text{ días} \times 0.09220 \text{ m}^3/\text{día} = 0.461 \text{ m}^3$$

### 3.5 Cálculo de la capacidad del tanque dosificador de hipoclorito

Dado que los volúmenes requeridos de hipoclorito, en ambos, procesos son pequeños, se pretende utilizar un solo tanque que suministre reactivo tanto en la operación de oxidación en el mezclador estático como en la operación de desinfección en la cámara de contacto.

De esta manera, el volumen total requerido para las dos operaciones es:

$$\text{Volumen total de reactivo } V_{\text{Total}} = \text{Vol. oxidación} + \text{Vol. desinfección} = \underline{0.76 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{Total}} = 0.761 \text{ m}^3. (201.06 \text{ gal}).$$

De datos de tanques estándar selecciónese un tanque de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) con capacidad nominal del tanque = 330 gal. y tapa de fondo torisférica.

Dimensiones:

1.0668 m  $\varnothing$  x 1.2192 m de altura tangente-tangente; es decir, (42" x 48").

$$\text{Volumen geométrico} = (\pi/4) * (1.0668 \text{ m})^2 * 1.22192 \text{ m} = 1.0898 \text{ m}^3 = 287.926 \text{ gal.}$$

$$\text{Altura máxima del líquido}(t-t) = \text{Vol. tot.} * (\pi/4 * d^2) = 0.9397 \text{ m.}$$

### 3.6 Cálculo de la capacidad de la bomba de distribución a la red municipal.

$$Q = 51 \text{ lps}$$

$$\text{Altura} = 5.72 \text{ m}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$\text{Gasto de diseño} = 56.1 \text{ l/s} = 1.65 \text{ m}^3/\text{s.}$$

De la ecuación de Ecuación de la energía 3-XIII:

$$p_1/\rho g + (1/2V_1)^2 + H_1 = p_2/\rho g + (1/2V_2)^2 + H_2 + \Delta h_{12} - h_p$$

La velocidad asociada al caudal es la misma en el trayecto de la tubería.

$$V_1 = V_2 \approx 0$$

Por lo tanto la ecuación se convierte en:

$$h_p = p_2/\rho g + (H_2 - H_1) + \Delta h_{12}$$

**Tabla**  
**Perdidas localizadas por accesorios**

Pérdida	K
Entrada viva	0.5
codos de 90° suaves	0.45
Salida	1.0
Válvula de compuerta (comp. abierta)	2.24
Llave nariz	5.8
Válvula Check)	2
$\sum K_i =$	<b>11.99</b>

Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = Vd/\nu$$

$$Re = 224430$$

La rugosidad del acero comercial es  $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$  m

$$\epsilon/d = 0.000302$$

Del diagrama de Moody (Pag. 241, Mecánica de fluidos, Robert L Mott) se determina el coeficiente de fricción  $f$ , donde  $f = 0.025$

$$\Delta h_{f_{12}} = (fL/d + k_i)V^2/2g$$

$$\Delta h_{f_{12}} = [(0.025 \cdot 20/0.254 + 11.99)(1.48)^2] / 2(9.8) = 1.55 \text{ m.}$$

Aplicando la ecuación de la energía simplificada tenemos:

$$h_p = (H_2 - H_1) + \Delta h_{f_{12}} = 5.72 + 1.5583 = 7.2783 \text{ de carga de la bomba.}$$

Potencia de la bomba:  $P_{ideal} = \gamma Q h_p$

$$P_{ideal} = [(9790 \text{ N/m}^3)(0.0561 \text{ m}^3/\text{s})(7.2783)] = 3997.4047 \text{ Nm/s.}$$

$$P_{ideal} = [3997.4047 \text{ N.m/s}] / 746 = 5.35 \text{ HP.}$$

Suponiendo una eficiencia real del 75%, la potencia real es:

$$Potencia = 5.35 / 0.75 = 7.1446 \text{ HP}$$

$$P_{real} = 7.14 \text{ HP}$$

Suponiendo una eficiencia del 65 %

$$P_{real} = 8.24 \text{ HP}$$

Considerar una potencia comercial de 10 HP

***CAPITULO 4***

***LOGÍSTICA DE OPERACIÓN DE LA PANTA EN  
CONJUNTO***

## 4 Logística de Operación de la Planta en conjunto

### 4.1 Introducción

El presente capítulo se refiere a un documento de Ingeniería de Proyectos generado en la etapa de Ingeniería de Detalle por el Departamento de Instrumentación y Control de Procesos.

En el se indican las secuencias normales de operación, así como también los procedimientos necesarios para controlar y mantener dentro ciertas condiciones de operación, así como también dentro de ciertos intervalos de producción y calidad, las modernas Plantas Industriales.

Lo anterior es considerando la participación de los diferentes profesionales y/o técnicos involucrados en la consecución de los proyectos, ya que independientemente de pertenecer a otra disciplina dentro de la ingeniería, es preciso interpretar y lograr con responsabilidad dichas operaciones.

Para entender o elaborar este documento es conveniente conocer los fundamentos en los cuales se basa la elaboración de este; la lógica de operación y su aplicación, con ello las personas involucradas en establecer el sistema de control dentro de un proyecto podrán especificar o entender las características del mismo.

El principal objetivo de este capítulo es cubrir en forma general un panorama del documento, incluyendo la información necesaria sobre algunos de sus fundamentos, para facilitar la comprensión de su funcionamiento en las operaciones de proceso dentro de la Ingeniería de Proyectos.

Para complementar la descripción anterior, en el capítulo se incluye un Diagrama de flujo de Proceso (DFP), el cual representa el inicio del Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI), ya que en el se encuentran todos los datos de ingeniería en forma clara y precisa. Además de ser la representación gráfica de todo el sistema en el que se describe el proceso.

Proporciona datos de entrada y salida de materia, y de los equipos que lo constituyen.

En general estos diagramas especifican todos los equipos con la instrumentación suficiente para llevar a cabo el control de la operación, el dimensionamiento de las tuberías y de los accesorios involucrados en el proceso.

#### 4.2 Descripción Básica del Proceso de Tratamiento

El propósito de este apartado es describir detalladamente la secuencia de operaciones unitarias que se llevarán a cabo para potabilizar el agua del pozo Tulyehualco 5. Este tren de potabilización fue ampliamente documentado y descrito en los capítulos anteriores y se deberán consultar para complementar la descripción presentada en este apartado.

La planta potabilizadora Tulyehualco 5 tiene como propósito principal remover el ion manganeso II, turbidez y sólidos suspendidos producidos por los procesos de oxidación por la cloración hasta el punto de quiebre.

El objetivo del proceso es remover más del 90% de manganeso en el agua de pozo por medio del proceso que se muestra en el siguiente diagrama.

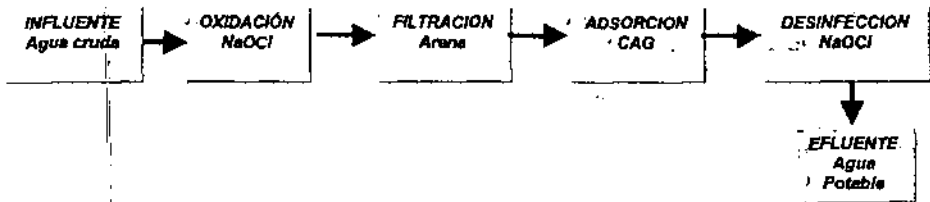


Fig. 4.1.- Diagrama de bloques del tren de potabilización.

Este tren de potabilización está propuesto para obtener las siguientes especificaciones particulares de calidad en el agua a distribución para consumo:

Manganeso total.	< 0.05 mg/l
Turbidez	< 5 NTU
Color	< 20 Upt - Co
pH	6.5 - 8.5
Olor.	Inodoro

La descripción del proceso está basado en los siguientes diagramas:

- Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI).
- Diagrama de flujo de proceso DFP.
- Plano Isométrico.



### 4.3 Descripción del proceso

El agua del pozo Tulyehualco 5 será extraída y enviada por la bomba de pozo BP-01, a un caudal máximo de 56.1 l/s, hasta llegar a los filtros rápidos a presión de arena - antracita FA-01, FA-02, FA-03 y FA-04, a través de un cabezal de 10" de diámetro interior. Previamente al proceso de filtración el agua pasa por un mezclador estático ME-01 ubicado en el cabezal de descarga de la bomba del pozo. En esta etapa del proceso el agua será clorada hasta el punto de quiebre con hipoclorito de sodio al 12.5% concentrado, para lo cual se cuenta con dos bombas dosificadoras para la Cloración (oxidación) BC-01 o BC-02R, una de las cuales se encontrará en relevo, el hipoclorito de sodio al 12.5% será succionado del tanque dosificador de hipoclorito TD-01 con capacidad de 1.25 m<sup>3</sup> suficientes para 8 días de operación a la capacidad máxima de dosificación de las bombas BC-01/02R, el hipoclorito de sodio al 12.5% será dosificado a un caudal de 2.44 l/h, equivalentes a una dosificación máxima de 2 mg/l y al 60% del flujo máximo que pueden dosificar las bombas. El equipo formado por el tanque dosificador TD-01 y las bombas dosificadoras de reactivo para cloración al punto de quiebre BC-01/02R estará integrado en un patín con todos los accesorios necesarios para su operación, el sistema contará con una cámara de calibración para las bombas, manómetros amortiguadores de pulsación, tubería, válvulas y conexiones. El patín de dosificación estará equipado con conexiones de manguera en la succión y descarga de cada bomba para permitir la carga del tanque TD-01 utilizando la bomba que se encuentra en relevo, succionando directamente del tambo de 200 litros del químico y desviando la descarga de la bomba por medio de una manguera flexible hacia el tanque y permitir llenarlo sin esfuerzo por el operador.

El hipoclorito de sodio al 12.5% será inyectado directamente al mezclador estático ME-01 en donde el agente químico se mezcla con el caudal de agua procedente del pozo iniciándose en este momento el contacto íntimo entre el reactivo y el manganeso (II) soluble hasta completar la reacción de oxidación, el producto de la reacción será la formación de partículas de óxido de manganeso MnO<sub>2</sub> el cual se encontrará en forma de pequeñas partículas coloidales (microfloc).

El agua pretratada con el hipoclorito de sodio será distribuida a través del cabezal principal de 10" de diámetro a los filtros rápidos de arena - antracita FA-01, FA-02, FA-03, FA-04, en los cuales serán separados los floculos formados por partículas de MnO<sub>2</sub> y otros sólidos suspendidos. Los filtros de arena - antracita cuyas características son: 1.91m de diámetro, profundidad de cama de arena de 0.2 m con un tamaño efectivo de 0.60 mm y 0.4 m de profundidad con tamaño efectivo de 0.79 mm para la antracita, fueron diseñados para operar a una velocidad máxima de 10 - 20 m/h, los datos experimentales de las corridas de filtración en la planta piloto demostraron que fue posible conseguir corridas de hasta 65 horas.

La caída de presión en los filtros operando normalmente será menor a 0.7 kg/cm<sup>2</sup> (1 psi), conforme el lecho filtrante se va colmatando la caída de presión aumentará, la corrida de filtración deberá ser suspendida cuando la caída de presión en cualquiera de los filtros sea mayor a 0.35 kg/cm<sup>2</sup> (5 psi), en este momento se deberá efectuar la operación de retrolavado del filtro con mayor caída de presión, esta operación debe hacerse con agua proveniente de la bomba del pozo, por lo tanto deben cerrarse las válvulas de suministro de agua al resto de los filtros.

El agua filtrada será colectada en un cabezal de 10" y llegará hasta las columnas de adsorción con la misma fuerza impulsora que proporciona la bomba del pozo BP-01, el agua será distribuida paralelamente en las torres de adsorción TA-01/02 a través de una línea de alimentación de 5" de diámetro interno a razón de 25.5 l/s. Las columnas de adsorción, empacadas con carbón activado, tendrán como objetivo principal separar los residuos de materia orgánica y algunos compuestos nitrogenados remanentes, con lo cual se mejoran las propiedades organolépticas como son el color, olor y sabor. Las columnas de adsorción tendrán que ser retrolavadas aproximadamente cada 20 días con agua proveniente del cárcamo de bombeo a la red municipal durante un tiempo de 10-15 min. a razón de  $3.36 \text{ m}^3 / \text{min.} = 56.1 \text{ l/s}$ .

El agua efluente de las torres de adsorción es recolectada en un cabezal de 10" de diámetro descargando por gravedad en el tanque de concreto armado TC-01 provisto de mamparas para mantener un régimen de flujo, en donde se efectúa la operación de desinfección. Este tanque cuenta con una cámara de mezclado en la cual se dosifica hipoclorito de sodio al 12.5% a través de un difusor del tipo "cola de pescado", el tanque de desinfección con una capacidad de operación de  $50.5 \text{ m}^3$  deberá llevar a cabo la desinfección del agua permitiendo un tiempo de contacto de 8 minutos a flujo máximo de 56.1 l/s.

La dosificación de hipoclorito será únicamente la necesaria para mantener un residual de cloro libre de 0.5 a 1.0 mg/l en el agua que será enviada a la red de distribución, sin embargo la dosis de hipoclorito de sodio para mantener el residual requerido deberá ser ajustada en operación de acuerdo a las lecturas del analizador de cloro residual AIR-101.

#### Recomendaciones

La corrida de filtración puede ser cortada cuando el operador de turno detecte un aumento súbito en la turbidez del efluente de los filtros. Es posible que el aumento de la turbidez sea coincidente con el aumento de la caída de presión, esta situación es deseable ya que optimiza la corrida de filtración como consecuencia de una penetración profunda del floc a través de todo el lecho de arena. Por lo tanto un aumento de turbidez mayor a 5 NTU deberá ser causa del inicio del proceso de retrolavado.

La operación de los filtros como adsorbentes deberá ser suspendido cuando el operador de turno registre un aumento en la concentración de la DQO en el efluente con respecto a los niveles encontrados en el influente de los filtros, este evento indicará que es necesario el cambio del lecho de carbón activado agotado, esta operación será efectuada manualmente y requiere de la entrada del personal de operación al interior del filtro por lo que se deberá observar la siguiente advertencia:

#### ¡ADVERTENCIA!

El carbón activado húmedo remueve oxígeno del aire. En recipientes cerrados, la falta de oxígeno puede alcanzar niveles peligrosos. Si un trabajador debe entrar a un recipiente que contiene carbón activado, se deberán aplicar los procedimientos de trabajo para espacios con baja concentración de oxígeno y llevar a cabo los muestreos necesarios antes de proceder a entrar al recipiente, se deberán seguir las normas de seguridad de la DGCOH aplicables para estos casos.

El tanque de desinfección TC-01 cuenta con cuatro canales, los cuales juntos suman una longitud total de contacto de 37.5 m al final de los cuales se encuentra un vertedor de control de nivel, el cual mantiene el nivel del tanque de desinfección en 1.64m, el efluente desinfectado es vertido finalmente en el cárcamo de bombeo TB-01

Para mantener el residual de cloro será suministrado hipoclorito de sodio por medio de las bombas dosificadoras para desinfección BD-01-A/B una de las cuales se encontrará en relevo, el hipoclorito de sodio al 12.5% será dosificado con un caudal de 3.842 litros/hr equivalentes a una dosificación máxima de 3 mg/l y al 60% del flujo máximo que pueden dosificar las bombas, el equipo formado por el tanque dosificador TD - 01 y las bombas dosificadoras BC-01 A/B, así como las bombas BD-01 A/B estará integrado en un patín con todos los accesorios necesarios para su operación, el sistema contará con una cámara de calibración para las bombas, manómetros, amortiguadores de pulsación, tubería, válvulas y conexiones.

El patín de dosificación estará equipado con conexiones de manguera en la succión y descarga de cada bomba para permitir la carga del tanque TD-01 utilizando la bomba que se encuentra en relevo succionando directamente del tambo de 200 litros del químico y desviando la descarga de la bomba por medio de una manguera flexible hacia el tanque y permitir llenarlo sin esfuerzo por el operador.

El agua desinfectada será acumulada en el cárcamo de bombeo TB-01. Este cárcamo de bombeo tendrá dos funciones principales, la primera es almacenar una cantidad de agua suficiente para llevar a cabo el retrolavado de una columna de adsorción cada 15-20 días. El cárcamo tiene una capacidad de 77.6 m<sup>3</sup> suficientes para efectuar el retrolavado de una columna de adsorción a la máxima velocidad de retrolavado 16.83 – 22 gal/minft<sup>2</sup> (41-54 m/h) durante 15 minutos.

El agua influente para el retrolavado de un filtro de carbón activado es enviada por medio de la bomba BR-01, a través de un cabezal de 10" de diámetro, el sistema de bombeo de agua de retrolavado tendrá la capacidad de regular el flujo de agua de 17.2 a 22 gal/minft<sup>2</sup> (42 a 53.7 m/h) para obtener del 30 al 50 % de expansión del lecho filtrante. El agua turbia efluente de retrolavado será enviada al drenaje municipal.

Finalmente y una vez desinfectada, el agua potable será enviada a la red de distribución por medio de la bomba BR-02 a una presión de descarga de 1.8 kg/cm<sup>2</sup> manométrica a través de un cabezal de 10" de diámetro, previa medición y registro del caudal suministrado.

## 4.5 Balance de materiales

Bases de cálculo	Unidades
• Flujo de influente	51 l/seg
• Factor de diseño	1.1
• Remoción de Manganeseo soluble en cloración	95 %
• Remoción de Manganeseo total	95 %
• Remoción de turbiedad en filtración	36.5 %
• Remoción de color en filtración	74 %
• Velocidad de filtración medio arena-antracita	15.90 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hr
• Velocidad de retrolavado en filtros de arena	63.3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hr
• Expansión total del medio filtrante en el retrolavado	
• Arena	20.5 %
• Antracita	55.2 %
• Area superficial de filtros	2.88
• N <sub>o</sub> de filtros en operación	4
• N <sub>o</sub> de filtros en retrolavado	1
• Duración de retrolavado en filtros	15 min
• Frecuencia de retrolavado	C/36 hr.
• Remoción de turbidez en adsorción	36 %
• Remoción de color en adsorción	20 %
• Velocidad de filtración en adsorción	15.33 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hr
• Velocidad de retrolavdo en torres de adsorción	42.06 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hr
• Expansión del medio adsorbente en el retrolavado	30 %
• Area transversal en torres de adsorción	4.908 m <sup>2</sup>
• N <sub>o</sub> de torres en operación	2
• N <sub>o</sub> de torres en retrolavado	1
• Duración de retrolavado en torres de adsorción	15 min
• Frecuencia de retrolavado	C/15 días
• Dosis de NaOCl al 12.5 % para remoción de Manganeseo	2 mg/l
• Dosis de NaClO al 12.5 % como desinfectante	3 mg/l

## 4.5

	9 Agua nfectada P	10 Agua a red de distribución	11 Dosis requerida (mg/l)	12 Hipoclorito de sodio para remoción de Manganeso	13 Hipoclorito de sodio para desinfección
Flujo l	51	51	Flujo masa (100 %) Kg/día	2	3
Flujo	1406	4406	pureza (%)	13.04	10.83
Sólido	786	786	Flujo masa @ % pur. Kg/Día	100	100
Ca <sup>++</sup> m	34.5	34.5	Concentración de solución %	13.04	10.83
Mg <sup>++</sup> m	44.5	44.5	Flujo de solución Kg/día	12.5	12.5
Na <sup>++</sup>	43.5	143.5	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	104.32	86.64
K <sup>++</sup>	10.5	10.5	Flujo en volumen m <sup>3</sup> /día	1075	1075
Fe <sup>++</sup> tot	1915	0.1915	Flujo de la solución l/Hr	0.09704	0.0806
Mn <sup>++</sup> sc	1018	0.1018		3.99	2.99
Mn tot	018	0.018			
Tot. Ca	33.2	233.2			
Cl <sup>-</sup> mg/	99.5	99.5			
F <sup>-</sup> mg/l	0.15	0.15			
Tot. Ar	73.75	173.75			
PH	8	8			
Alcalin	364	364			
CO <sub>2</sub>	24.7	24.7			
Sólido	80.66	680.66			
Conduc	1005	1005			
Color t	4.25	4.25			
Turbie	2304	0.2304			
Sólido	5.3	5.3			
Cl <sub>L</sub> mg	0.0	0.0			
Cl <sub>T</sub> mg	0.0	0.0			
Colif. f	negativo	negativo			

Nota.

***CAPITULO 5***

***REQUISICIONES DE EQUIPO***

## **5 Requisiciones de Equipo y Materiales**

### **5.1 Introducción**

Este documento forma parte de la Ingeniería de Procura, y comprende la especificaciones de los equipos y materiales de las nuevas instalaciones, así como los trámites para su correspondiente adquisición.

La generación de la documentación técnica se establece a partir de la información generada en la etapa de Ingeniería Básica y en la etapa de Ingeniería de Detalle.

Dependiendo el tipo de Organización que tenga la empresa esta actividad se lleva a cabo, en su totalidad, por un Departamento especializado; o bien la generación de los documentos de compra para concurso o de compra de materiales, se generan por diferentes departamentos funcionales, toda vez que los trámites que relacionan a los proveedores son llevados a cabo por otro Departamento.

Normalmente la actividad de Procura tiene la siguiente secuencia.

- Preparación de la requisición o solicitud de cotización.
- Trámites de envío a proveedores.
- Elaboración de tabulaciones Técnico – Comercial de las cotizaciones recibidas.
- Preparación y trámites de ordenes de compra.
- Revisión y aprobación de Planos del fabricante.
- Expedición.
- Inspección.
- Embarque.
- Recepción.

Algunos conceptos empleados en esta actividad son:

**Requisición:** Es un documento Técnico – Comercial el cual incluye todos los componentes del sistema que se esta solicitando; este documento contiene la siguiente información.

- Especificaciones o requisiciones Técnico – Comerciales.
- Alcance.
- Diseño.
- Fabricación.
- Montaje.
- Pruebas de arranque.
- Especificaciones particulares.
- Requerimientos comerciales.
- Tiempo de entrega.
- Libre a Bordo (LAB).
- Garantías.
- Condiciones de pago.
- Validez de la oferta.

**Cotización:** Es un documento que describe lo que esta ofreciendo el fabricante, cubriendo dos aspectos. 1.- Técnico y 2.- Comercial.

REQUISICION No. P-101

SISTEMAS DE DOSIFICACION DE QUIMICOS

PARA

PROYECTO: PLANTA POTABILIZADORA TULYEHUALCO 5

Cd. de México

México D.F.

Tipo de Orden: Sistemas Dosificadores de Químicos

Nivel de Datos Técnicos necesarios para: Evaluación Técnica

Requiere Revisión Técnica: Si

Rev.	Fecha	Por	Reviso

CONTENIDO

SECCION 1	Requisición
SECCION 2	Datos de Diseño del Proyecto
SECCION 3	Códigos y Estándares Aplicables
SECCION 4	Requisitos de Datos y Dibujos de Proveedor
SECCION 5	Hoja de Datos Técnicos de Sistemas Dosificadores de Químicos



## Requisición

## Sección 1

El proveedor deberá suministrar los siguientes Sistemas Dosificadores de Químicos que incluyen pero no se limitan al siguiente equipo de materiales:

Clave No.	Cantidad	Unidad	Descripción
<b><u>Sistema Dosificador de Hipoclorito de Sodio para la cloración al punto de quiebre</u></b>			
TD-01	1	pza.	Tanque dosificador de hipoclorito de sodio
BC-01	1	pza.	Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio
BC-02	1	pza.	Bomba dosificadora (relevo) de hipoclorito de sodio
MBC-01	1	pza.	Motor bomba dosificadora de hipoclorito
MBC-02	1	pza.	Motor bomba dosificadora de hipoclorito(relevo)
<b><u>Sistema Dosificador de Hipoclorito de sodio para desinfección</u></b>			
BD-01	1	pza.	Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio
BD-02	1	pza.	Bomba dosificadora (relevo) de hipoclorito de sodio
MBD-01	1	pza.	Motor bomba dosificadora de hipoclorito
MBD-02	1	pza.	Motor bomba (relevo) dosificadora de NaOCl
	1	lote	Partes de repuesto para dos años de operación normal
	1	lote	Partes de repuesto para pruebas y arranque
Total de esta requisición: 11			
El proveedor deberá garantizar el equipo por un periodo mínimo de (12) doce meses después del arranque o (24) veinticuatro meses después de la fecha de embarque, lo que ocurra primero.			

## Datos de diseño del proyecto

## Sección 2

## Localización Geográfica

1	Nombre de la planta	Tulyehualco 5
2	Localización:	Av. Div. Del Norte y Manuel A. Camacho
	Estado	México D.F.
	Delegación.	Xochimilco
3	Altitud sobre el nivel del mar	2300 m
4	Coordenadas	
	Latitud (Norte)	99°02'
	Longitud (Oeste)	19°12'
5	Presión Barométrica Media	584 mm Hg.

## Condiciones Climáticas

1	Temperatura	30 °C
	Máxima Extrema	33 °C
	Mínima Extrema	
	Bulbo seco invierno/verano	4/30 °C
	Bulbo húmedo	16.5 °C.

## Códigos y estándares aplicables

## Sección 3

Area con clasificación eléctrica: No clasificada

### Códigos y Estándares Industriales aplicables (Última edición):

ANSI	American National Standards Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials
HI	Hydraulic Institute
NEMA	National Electrical Manufacturers Association.

### Especificaciones técnicas

#### Bombas dosificadoras Accionadas por Motor Eléctrico

Las bombas deberán ser del tipo de diafragma en el extremo líquido, con válvula de relevo interna, válvulas check tipo bola en succión y descarga del extremo líquido amortiguador de pulsación, cople guardacople y motor eléctrico.

Las bombas deberán ser seleccionadas de tal manera que el punto de operación no sea menor del 10 % de la máxima capacidad específica, o más del 90 % de la máxima capacidad especificada.

Las bombas dosificadoras deberán ser del tipo doble diafragma simplex, bombas del tipo pistón, embolo o tubulares no serán aceptadas.

El extremo líquido de la bomba deberá tener diafragma operado hidráulicamente, con una válvula de relevo de presión interna sobre el lado del flujo hidráulico la cual deberá prevenir la sobre presión durante un eventual bloque de descarga.

Las válvulas check deberán ser del tipo doble bola en succión y la descarga, las bolas y los anillos de asiento deberán ser fácilmente removidos sin desconectar la bomba a su sistema de tuberías.

Las bombas deberán tener un micrómetro para el ajuste manual de la carrera calibrado de 0 a 100 % en incrementos de 1 % la escala y la perilla de control deberán ser fácilmente accesibles y visibles en la carcasa de la bomba.

Las bombas deberán tener una exactitud repetitiva de  $\pm 1\%$ , la longitud de la carrera deberá ser ajustable de 0 a 100 % cuando la bomba se encuentre parada o en operación, el extremo líquido de la bomba deberá tener conexiones de succión y de descarga para conexiones roscadas de  $\frac{1}{2}$ " NPT.

Los engranajes, vástago conector, manivelas y crucetas deberán operar sumergidos en baño de aceite con lubricación forzada, en un comportamiento hermético integral a la carcasa de la bomba.

La carcasa de la bomba deberá ser herméticamente sellada contra polvo y agua.

Las bombas deberán ser suministradas con coples y guardacople removible.

Los materiales de construcción deberán ser como se especifica en la sección 5.

#### Tanques dosificadores de químicos

Los tanques dosificadores de químicos deberán ser construidos de FRP (fiberglass reinforced plastic) el tipo de resina deberá ser adecuada al servicio requerido con tapas planas reforzadas y fondo tonésferico, y con las siguientes conexiones:

- Inspección
- Conexiones para entrada y salida
- Conexiones para venteo y derrame

- Conexiones para drenaje
- Conexiones para interruptores e indicadores de nivel
- Orejas de levantamiento.

Los tanques dosificadores de químicos deberán ser construidos de acuerdo a los siguientes estándares dependiendo del método de construcción utilizado:

- ASTM D-4097, Contact Model Method
- ASTM D-3299, Filament Wound Method

#### Patines estructurales

Todos los patines deberán ser suministrados completos con marcos, plataformas, patas, y placas base con agujeros de anclaje, toda la fabricación deberá ser soldada.

Todo el acero estructural deberá ser fabricado de acero al carbón ASTM A-36, todas las formas estructurales deberán cumplir con los estándares americanos de la Association of American Steel Manufacturers (AASM) o su equivalente estándar mexicano.

La preparación de superficie deberá cumplir con los estándares SSPC-SP-10 a metal blanco con una capa de primer EPOXICO-AMINA FLEXIBLE de 8 a 10 mm de espesor seco con un TOPCOAT EPOXICO-AMINA color azul de 3 a 5 mm de espesor seco.

#### Requisitos de datos y dibujos del proveedor

#### Sección 4

Grupo No.	Sufijo	Descripción de dibujos y documentos	con la propuesta de proveedor
1	P	Dibujos dimensionales	1 p
2	P	Hoja de datos complementada	1 p
3	P	Curvas de operación	1 p
4	P	Peso de operación y embarque	1 p
5	P	Literatura técnica y catálogos	1 p
6	P	Lista de partes de repuesto para pruebas de arranque	1 p
7	P	Lista de partes de repuesto para dos años de operación normal.	1 p

Código de sufijo de grupo:

P = Datos prioritarios

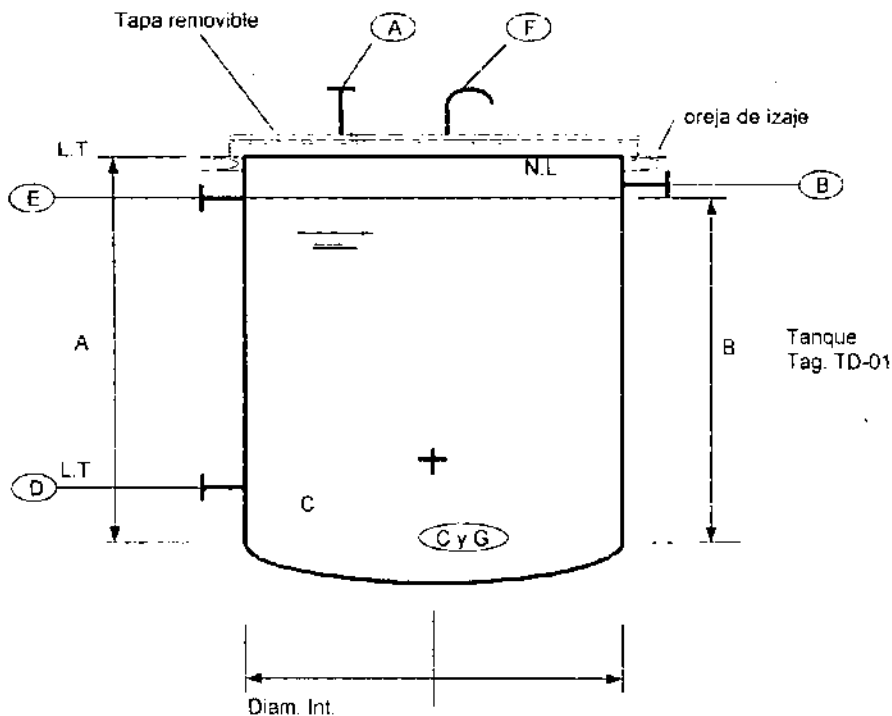
Con la propuesta del proveedor:

p = Fotocopia.

## HOJA DE DATOS DE SISTEMAS DOSIFICADORES QUIMICOS

Datos de diseño		BC-01/02	BD-01/02
<b>Bomba dosificadora</b>			
No. Tag bomba		BC-01/02	BD-01/02
Servicio		dosificación	dosificación
Producto químico		hipoclorito de sodio 12.5 %	hipoclorito de sodio 12.5 %
Temperatura °C		20	20
Concentración solución %		12.5	12.5
Densidad solución kg/m <sup>3</sup>		1075	1075
Capacidad normal l/h			
Capacidad máxima l/h 100 %			
Viscosidad cP		1.000	1.000
pH		corrosivo	corrosivo
Presión succión kg/cm <sup>2</sup> man		inundada	inundada
Presión descarga (Psi)		175	175
Tipo		despla. Positivo doble diafragma simplex acción hidráulica	despla. Positivo doble diafragma simplex acción hidráulica
Modelo		5710(B)	5710(B)
Tamaño		1-1/16"	19/32"
Fabricante o similar		Wallace & Tiernan Worldwide	Wallace & Tiernan Worldwide
Peso total kg (simple)		50	50
<b>Materiales</b>			
Carcaza		PVC	PVC
Diafragma		teflon	teflon
Cabeza de diafragma		PVC	PVC
Bolas		cerámica	acero inoxidable
Asientos		ABS	ABS
Válvula de succión y descarga		PVC	PVC
Diafragma		TFE-recubierto	TFE-recubierto
Motor		OK	OK
No. Tag		MBC-01/02	MBC-01/02
Fabricante		IEM o sim.	IEM o sim.
Tipo		TCNV	TCNV
HP		1/4	1/4
RPM		1450	1450
Armazón		NEMA	NEMA
Volts/fases/ciclos		440/3/60	440/3/60
Aislamiento		NEMA 9	NEMA 9
Peso kg			
<b>Tanque dosificador</b>		OK	
No. de Tag tanque		TD-201	TD-201
Modelo			
Fabricante			
Capacidad nominal m <sup>3</sup>		0.84	0.84
Diámetro mm		1219.2	1067
Longitud (tang-tang) (m)		1.2197	1.2197
Altura de líquido a línea tang inferior (m)		1.550	0.9397
Tapa superior		plana	plana
Tapa inferior		torisférica	torisférica
Material tapas		FRP	FRP
Material cuerpo		FRP	FRP
Espesor tapas			
Espesor cuerpo			
Peso kg			
Panel eléctrico		NEMA 4X	NEMA 4X
Notas		montaje en patín	montaje en patín

Nota: La selección del modelo de equipo es preliminar, el proveedor deberá confirmar la selección de los modelos de los equipos así como las capacidades, tamaños y condiciones de operación aquí especificadas de acuerdo a su propuesta técnica particular.



Notas:  
 L.T Línea Tangente  
 N. L Nivel de líquido

Tabla de dimensiones de tanques					
No. Tag	A	B	C	Capacidad nominal m <sup>3</sup>	Capacidad nominal gal
TD-01	1220mm	945mm	1066.8 mm	2300	607

Identificación de boquillas para TD-01	A	B	C	D	E	F	G
No.	1	1	1	1	1		1
Diámetro pig	1 1/2"	1 1/2"	1/2"	3/4"	3/4"	1"	1/2"
Tipo	bridada	bridada	bridada	bridada	bridada		bridada
Clase/cara	150 #	150 #	150 #	150 #	150 #	cuello	150#
Servicio	entrada de químico	reserva	salida de químico	indicador de nivel	indicador de nivel	venteo	salida de químico

**REQUISICION No. P-102**  
**BOMBAS CENTRIFUGAS VERTICALES**  
**PARA**  
**PROYECTO PLANTA POTABILIZADORA TULYEHUALCO 5**  
**Cd. de México**  
**México D.F.**

**Tipo de Orden:** Bombas centrifugas verticales

**Nivel de Datos Técnicos necesarios para:** Evaluación Técnica

**Requiere Revisión Técnica:** Si

Rev.	Fecha	Por	Reviso

**CONTENIDO**

SECCION 1	Requisición.
SECCION 2	Datos de Diseño y Proyecto
SECCION 3	Códigos y Estándares Aplicables
SECCION 4	Requisitos de Datos y Dibujos de Proveedor
SECCION 5	Hoja de Datos Técnicos de Bombas Verticales.

## Requisición

## Sección 1

El proveedor deberá suministrar las siguientes Bombas Centrifugas Verticales que incluyen pero no se limitan al siguiente equipo de materiales:

Clave No.	Cantidad	Unidad	Descripción
BP-01	1	pza.	Bomba de pozo
MBP-01	1	pza.	Motor bomba de pozo
BR-01	1	pza.	Bomba de distribución a red
MBR-01	1	pza.	Motor bomba de distribución a red
BR-02-R	1	pza.	Bomba de distribución a red (relevo en almacén)
MBR-02-R	1	pza.	Motor bomba de distribución a red (relevo en almacén)
	1	lote	Partes de repuesto para dos años de operación normal
	1		Partes de repuesto para pruebas y arranque.
			Total de esta requisición: <b>8</b>
			El proveedor deberá de garantizar el equipo por un periodo de (12) doce meses después del arranque o (24) veinticuatro meses después de la fecha de embarque lo que ocurra primero.

## Datos de diseño del proyecto

## Sección 2

## Localización Geográfica

1	Nombre de la planta	Tulyehualco 5
2	Localización:	Av. Div. Del Norte y Manuel A. Camacho
	Estado	México D.F.
	Delegación	Xochimilco
3	Altitud sobre el nivel del mar	2300 m
4	Coordenadas	
	Latitud (Norte)	99°02'
	Longitud (Oeste)	19°12'
5	Presión Barométrica Media	584 mm Hg.

## Condiciones Climáticas

1	Temperatura	30 °C
	Máxima Extrema	33 °C
	Mínima Extrema	
	Bulbo seco invierno/verano	4/30 °C
	Bulbo húmedo	16.5 °C.

**Códigos y estándares aplicables**

**Sección 3**

Area con clasificación eléctrica: No clasificada

**Códigos y Estándares industriales aplicables (última edición)**

ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
HI	Hydraulic Institute
NEMA	National Electrical Manufactures Association
AWWA	American Water Works Association.

NOM-001-SEMP-1994 Norma Oficial Mexicana ART. 430, Motores.

**Requisitos de datos y dibujos del proveedor**

**Sección 4**

Grupo Propuesta de		Descripción de dibujos y documentos	Con la proveedor
No.	Sufijo		
1	P	Dibujos dimensionales	1 p
2	P	Hoja de datos complementada	1 p
3	P	Curvas de operación	1 p
4	P	Peso de operación y embarque	1 p
5	P	Literatura técnica y catálogos	1 p
6	P	Lista de partes de repuesto para pruebas de arranque	1 p
7	P	Lista de partes de repuesto para dos años de operación normal.	1 p

Código de sufijo de grupo:

P = Datos prioritarios

Con la propuesta del proveedor:

p = fotocopia.



## Hoja de datos técnicos de bombas verticales

## Sección 5

No. Tag bomba	BP-01	BR-01/02-R
Servicio	agua de pozo Tulyehualco 5	Distribución a red.
Operación		
Fluido	agua cruda del pozo	agua potable
Temperatura °C	20	20
Densidad kg/m <sup>3</sup>	997	997
Presión de vapor kg/cm <sup>2</sup> a	0.0176	0.0176
Viscosidad cP	1.14	1.14
Capacidad de operación m <sup>3</sup> /h	136.8	187.6
Capacidad diseño (rated) m <sup>3</sup> /h	150.4	206.35
Presión succión kg/cm <sup>2</sup> m		
Presión descarga kg/cm <sup>2</sup> m	10.34	2.6
Presión diferencial kg/cm <sup>2</sup> m		
TDH m	103.35	25.94
NPSH disponible m	≥ 7.62	> 7.62
Profundidad del carcamo m	Pozo	5.5
Nivel del carcamo m	70.5	5.0 max/1.34 min
Comportamiento		
Curva No.		
NPSH requerido m		
Sumergencia m		
No. pasos		
Eficiencia %		
BHP		
RPM		
Flujo mínimo continuo m <sup>3</sup> /h		
Rotación		
Construcción		
Descarga	sobre superficie	sobre superficie
Tipo	Turbina	Turbina
Modelo		
Fabricante		
Tipo de impulsor	cerrado	cerrado
Diámetro impulsor mm		
Diámetro tazón mm		
Diámetro columna mm		
Boquilla descarga	150 # ANSI	150 # ANSI
Lubricación	fluido bombeado	fluido bombeado
Peso total kg		
Materiales		
Cabezal de descarga	acero estructural	acero estructural
Columna	acero al carbón	acero al carbón
Tazones	acero al carbón	acero al carbón
Impulsores	acero al carbón	acero al carbón
Flecha impulsor	S.S. 416	AISI-1045
Flecha	S.S. 416	AISI-1045
Empaques	estándar	estándar
Coladera de succión	Acero inoxidable	no requerida
Motor		
No. Tag.	MBP-01	MBR-01/02-R
Fabricante		
Tipo	sumergido	TCCV
HP	32.33	20
RPM		
Armazón		
Volts/fases/ciclos	440/3/60	440/3/60
Peso kg		

Nota: Los datos técnicos faltantes deberán ser proporcionados por el proveedor o fabricante del equipo.

**REQUISICION No. P-103**  
**SISTEMAS PAQUETE DE FILTRACION**  
**PARA**  
**PROYECTO PLANTA POTABILIZADORA TULYEHUALCO 5**  
**Cd. de México**  
**México D.F.**

**Tipo de Orden:** Filtración en arena-antracita

**Nivel de Datos Técnicos necesarios para:** Evaluación Técnica

**Requiere Revisión Técnica:** Si

Rev.	Fecha	Por	Reviso

**CONTENIDO**

SECCION 1	Requisición
SECCIÓN 2	Datos de Diseño y Proyecto
SECCION 3	Requisitos de diseño y construcción
SECCION 4	Requisitos de Datos y Dibujos de Proveedor

## Requisición

## Sección 1

El proveedor deberá suministrar un Sistema Paquete de Filtración el cual deberá incluir pero no limitarse a los siguientes equipos y paquetes:

Clave No.	Cantidad	Unidad	Descripción
			<u>Filtración</u>
FA-01	1	pza.	Filtro rápido a presión de arena-antracita
FA-02	1	pza.	Filtro rápido a presión de arena-antracita
FA-03	1	pza.	Filtro rápido a presión de arena-antracita
FA-04	1	pza.	Filtro rápido a presión de arena-antracita
TA-01	1	pza.	Filtro rápido a presión de carbón activado
TA-02	1	pza.	Filtro rápido a presión de carbón activado
	1	lote	Válvulas automáticas
	1	lote	Instrumentos
	1	lote	Toda la tubería frontal de interconexión, válvulas y accesorios entre equipos
	1	lote.	Partes de repuestos para dos años de operación normal
	1	lote.	Partes de repuesto para comisionado y arranque
	1	servicio	Ingeniería y supervisión para arranque
			Total de esta requisición: <b>12 ítems</b>
			El proveedor deberá garantizar el equipo por un periodo de (12) doce meses después del arranque o (24) veinticuatro meses después de la fecha de embarque lo que ocurra primero.

## Datos de diseño del proyecto

## Sección 2

## Localización Geográfica

1	Nombre de la planta	Tulyehualco 5
2	Localización:	Av. Div. Del Norte y Manuel A. Camacho
	Estado	México D.F.
	Delegación	Xochimilco
3	Altitud sobre el nivel del mar	2300 m
4	Coordenadas	
	Latitud (Norte)	99°02'
	Longitud (Oeste)	19°12'
5	Presión Barométrica Media	584 mm Hg.

## Condiciones Climáticas

1	Temperatura	30 °C
	Máxima Extrema	33 °C
	Mínima Extrema	
	Bulbo seco invierno/verano	4/30 °C
	Bulbo húmedo	16.5 °C.

## Requisitos de diseño y construcción

## Sección 3

### General

El proveedor deberá suministrar un Sistema de Filtración cuatro en Arena -antracita y dos en carbón activado para la remoción de turbidez y sólidos suspendidos. Este sistema será instalado al pie del pozo Tulyehualco 5 localizado al Sur de la Ciudad de México. El proceso de filtración será usado para separar las partículas insolubles de óxido de manganeso ( $MnO_4$ ) coloidal, sólidos suspendidos, y materia orgánica que serán producidas por un proceso de hipercloración hasta el punto de quiebre (breakpoint hypochlorination) para oxidar el Mn (II) disuelto normalmente presente en el agua como carbonato en el agua cruda del pozo Tulyehualco 5. El paquete de filtración deberá ser fabricado en total cumplimiento con esta requisición y de acuerdo a las especificaciones técnicas, códigos y estándares industriales aquí mencionados.

Cuando exista un aparente conflicto entre esta requisición, las especificaciones técnicas, la descripción del equipo y los códigos y/o estándares, el proveedor deberá solicitar por escrito su aclaración a la empresa requisitante.

Todas las excepciones y desviaciones a esta requisición deberán ser claramente establecidas en la propuesta técnica para su aprobación por la empresa requisitante.

**Area con clasificación eléctrica:** No clasificada

### Códigos y Estándares Industriales aplicables (Última edición):

ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
AWS	American Welding Society
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
AWWA	American Water Works Association.

## Requisitos de diseño y construcción

## Sección 3

## Criterios de diseño.

El dimensionamiento deberá estar basado en los siguientes criterios de diseño:

Concepto	Dato
Factor de sobrediseño (sobre la capacidad hidráulica)	1.1
Factor de Planta (8760 horas/año)	1.0
Presión de agua de entrada(kg/cm <sup>2</sup> m)	≈ 3
Temperatura de agua de entrada,(°C)	25 max/9 min
Presión requerida en el agua efluente,(kg/cm <sup>2</sup> m)	0.35
Instalación	Exteriores
Temperatura del aire atmosférico,(°C)	min -1/max 32
Velocidad del viento,(km/h)	185
Zona Sísmica, (zona)	II (Cd. de México)
Presión de aire de instrumentos (seco),(kg/cm <sup>2</sup> m)	7.0
Punto de rocío del aire de instrumentos (°C)	-40
Temperatura de aire de instrumentos,(°C)	20
Corriente eléctrica para motores,(>200 HP)	no disponible
Corriente eléctrica para motores,(1/2-200 HP)	440V/3F/60HZ
Corriente eléctrica para motores,(<1/2 HP)	110V/1F/60HZ
Instrumentación y control	110V/1F/60HZ
Rating NEMA del sistema,(NEMA)	4X
Rating NEMA del panel,(NEMA)	4X
Recubrimiento y pintura	Standard
Carcáza de motores	TCCV
Limitaciones de espacio	Ver plano de arreglo de equipo

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS FILTROS DE ARENA

### Descripción básica del equipo

El proveedor deberá suministrar 6 (cuatro) filtros, cuatro de arena-antracita y dos de carbón activado, los filtros deberán ser del tipo a presión de flujo descendente con retrolavado de agua, los filtros deberán ser unidades paquete fabricadas en taller, prealambradas y pre-entubadas en construcción de placa de acero al carbón.

Cuatro filtros deberán usar arena-antracita y dos deberán usar carbón activado como medio filtrante soportado sobre un lecho de grava graduada.

El retrolavado deberá ser automático bajo la condición de pérdida de carga (alta caída de presión diferencial), con previsión para una eventual operación manual, los filtros de arena deberán usar agua de retrolavado suministrada por medio del sistema de bombeo del agua de pozo; los filtros de carbón activado deberán usar agua de retrolavado suministrada por medio del agua de pozo.

### Válvulas y tuberías

Las válvulas de los filtros deberán ser automáticas y del tipo mariposa operadas neumáticamente para control on-off con posicionador y paro de carrera ajustable para ajustar la abertura de la válvula. El cuerpo de las válvulas deberá ser de fierro fundido lineado, disco de acero inoxidable 316, asientos EPDM, actuador de pistón del tipo doble acción, se deberá suministrar interruptores limite para cada válvula automática. Toda la tubería del cabezal deberá ser construida de acero ASTM A-53 grado B sin costura, cédula 40 con accesorios soldados a tope (butt-weld).

### Diseño del bajo dren

El drenaje de los filtros deberá ser del tipo cabezal con múltiples laterales perforados de acero inoxidable 316, el diseño hidráulico de bajo dren deberá ser adecuado para llevar a cabo el retrolavado del filtro con agua únicamente, cabezales y múltiples construidos de tubería plástica no son aceptables.

### Medio filtrante

El medio filtrante deberá ser arena sílica-antracita fina y carbón activado, el medio deberá cumplir los requisitos de los estándares ASTM y ANSI/AWWA (última edición) para medios filtrantes que se mencionan a continuación:

AWWA/ANSI B100-89 y addendums B100a-91 y B100b-92  
ASTM D75  
SATM C136  
ASTM C188.

La granulometría de los lechos filtrantes estará de acuerdo a los siguientes valores:

❖ **Arena:**

Tamaño efectivo:	0.6 mm.
Coefficiente de uniformidad	1.7
Tamaño en el percentil 10 ( $P_{10}$ )	0.60 mm.
Tamaño en el percentil 60 ( $P_{60}$ )	1.02 mm.
Tamaño en el percentil 30 ( $P_{30}$ )	0.66 mm.
Tamiz No.	20-30
Dureza en la escala de Mhor. apróx.	7

Granulometría de la antracita:

❖ **Antracita:**

Tamaño efectivo:	0.79 mm
Coefficiente de uniformidad :	1.77
Tamaño en el percentil 10 ( $P_{10}$ ) :	0.79 mm.
Tamaño en el percentil 60 ( $P_{60}$ ) :	1.40 mm.
Coef. de Curvatura (C.C):	0.904

Especificaciones y propiedades del Carbón Activado (De Concha de coco):

Propiedades Físicas	VALORES	NORMA
Serie de tamices	---	Stándar U.S
Serie estándar U.S	8 x 30	ASTM D-2862
Humedad (% máx)	4 Max.	ASTM D-2867
Mayor que No. 8 (%Máx)	5	ASTM D-2862
Menor que No. 30(%máx)	5	ASTM D-2862
Densidad aparente (gr/cc)	0.50-0.55	ASTM D-2854
Número de lodo.	900min.	ASTM D-4607
Número de dureza	98min.	ASTM D-3802
Radio medio de poro ( $A^\circ$ )	7.8	Adsorción $N_2$
Long. de semidecoloración (cm. máx)	6	DIN 19603
Area sup. total $m^2/g$ (mín)	900	$N_2$ . BET
Contenido de cenizas (%máx).	4	ASTM D-2866

Estas especificaciones típicas corresponden a los carbones de Concha de coco.



### Instrumentación y control

La operación de los filtros deberá ser totalmente automática, sin embargo el proveedor deberá anticipar la posibilidad de una eventual operación manual.

Los filtros deberán ser suministrados con un panel local de control del tipo autosoportado, todos los componentes eléctricos deberán ser encerrados en un gabinete a prueba de agua NEMA 4x.

El sistema de control deberá estar basado en un controlador lógico programable (PLC).

Todas las señales analógicas deberán ser 4 - 20 mA CD.

Los instrumentos deberán ser instalados de acuerdo con los estándares ISA.

Los filtros deberán tener como mínimo la siguiente instrumentación:

- Indicador de flujo en la entrada de cada filtro
- Indicador de presión de servicio en el cabezal principal común de entrada y salida del sistema de filtración
- Indicadores e interruptores de presión diferencial en cada filtro
- Válvula de relevo de presión - vacío en cada filtro
- Mirilla en cada filtro.

Todas las variables claves del proceso deberán ser claramente desplegadas a través de un indicador digital integral de tipo LED.

### Sistema de recubrimiento anticorrosivo y pintura

Todas las superficies externas del recipiente y los elementos estructurales deberán ser limpiados a metal blanco comercial y recubiertos con un "primer" epóxico - amina flexible de 8 a 10 mm de espesor seco con un "topcoat" epóxico -amina color seleccionado estándar de 3 a 5 mm de espesor seco.

**Datos de diseño de proceso**

**Filtros con lecho Arena-Antracita.**

**Objetivo:**

**Remoción de Mn, sólidos Suspendidos y turbidez**

Flujo de Diseño por sistema:	56.1 litros/seg
Flujo normal por sistema:	51 litros/seg
Flujo de diseño por litro:	14.02 litros/seg
Velocidad normal de filtración:	15.90 m/h
Sólidos totales en el influente:	568 ppm max.
Turbidez en el influente:	4.2 NTU max.
Remoción esperada de sólidos:	98 % min
Sólidos suspendidos en efluente:	0.5 a 1 ppm max.
Turbidez en efluente:	0.5 a 1 NTU max.
Velocidad de retrolavado con aire:	no requerido
Velocidad de retrolavado con agua:	57.31 a 63.04 m/h
Expansión de lecho:	10 a 20 % max
Agua de retrolavado usada:	1.5-2.0% max entre corridas de filtración
Tiempo de retrolavado con agua:	10 min
Frecuencia de retrolavado:	c/36 hrs (estimado)
Flujo de agua retrolavado:	38.0-41.8 litros/seg
Presión de agua de retrolavado disponible:	≈ 1.8 kg/cm <sup>2</sup> m

**Datos de diseño de recipientes**

Diámetro del cuerpo:	1.91m interno
Altura recta del cuerpo:	2.45 m tang-tang
Presión de operación:	3.0 kg/cm <sup>2</sup> m
Presión de diseño:	7.03 kg/cm <sup>2</sup> m
Presión de prueba:	(*) kg/cm <sup>2</sup> m
MAWP según código ASME:	(*) kg/cm <sup>2</sup> m
Espesor de la coraza:	(*) mm
Material de la coraza:	SA-285-Gr.C
Cabeza tipo:	semi - elíptico
Espesor de las cabezas:	(*) mm
Material de las cabezas:	SA-285-Gr.C
Código de fabricación:	ASME Sección VII, Div.1
Recubrimiento interno:	no requerido
Recubrimiento externo:	como se especificó
Código estampado:	no requerido
Prueba de fabricación del recipiente:	estándar - spot radiografiado

**Medio filtrante**

<b>Tipo:</b>	<b>Arena sílica</b>	<b>Antracita</b>
Tamaño efectivo:	0.60 mm	0.79
Factor de esfericidad:	0.8	0.35
Gravedad específica:	2.65	1.65
Coefficiente de uniformidad:	1.7	1.77
Porosidad:	0.4750	0.722
Altura del medio:	200 mm	400 mm

(\*) Datos faltantes por proveedor o contratista de ingeniería de detalle.

### Filtros con lecho de carbón activado.

Objetivo:	Remoción de Mn, sólidos suspendidos y turbidez
Flujo de Diseño por sistema:	56.1 l/s
Flujo normal por sistema:	56 l/s
Flujo de diseño por filtro:	28.05 l/s
Velocidad normal de filtración:	15.33 m/h
Turbidez en el influente:	4.2 NTU máximo
Remoción esperada de sólidos suspendidos:	98 % mínimo
Sólidos suspendidos en efluente:	0.5 a 1 ppm máximo
Turbidez en efluente:	0.5 a 1 NTU máximo
Velocidad de retrolavado con agua:	38.22 a 42.06 m/h
Expansión de lecho:	30 a 50 % máximo
Agua de retrolavado usada:	1.5-2.0% max entre Corridas de filtración
Tiempo de retrolavado con agua:	10 mínimo
Tiempo de retrolavado con aire:	no aplica
Frecuencia de retrolavado:	15-20 días (estimado)
Flujo de agua retrolavado:	51-56.1 l/s
Flujo de aire de retrolavado:	no aplica
Presión de agua de retrolavado disponible:	$\approx 1.8 \text{ kg/cm}^2\text{m}$
Presión de aire de retrolavado:	no aplica

**Datos de diseño de recipientes**

Diámetro del cuerpo:	2.50m interno
Altura recta del cuerpo:	7.10 m tang-lang
Presión de operación:	3.0 kg/cm <sup>2</sup> m
Presión de diseño:	7.03 kg/cm <sup>2</sup> m
Presión de prueba:	(*) kg/cm <sup>2</sup> m
MAWP según código ASME:	(*) kg/cm <sup>2</sup> m
Espesor de la coraza:	(*) mm
Material de la coraza:	SA-285-Gr.C
Cabeza tipo:	semi-elíptico
Espesor de las cabezas:	(*) mm
Material de las cabezas:	SA-285-Gr C
Código de fabricación:	ASME Sección VII, Div. 1
Recubrimiento interno:	no requerido
Recubrimiento externo:	como se especificó
Código estampado:	no requerido
Prueba de fabricación del recipiente:	standa - spot radiografiado

**Medio filtrante****Especificaciones y propiedades del carbón activado (Concha de coco).**

Propiedades Físicas	VALORES	NORMA
Serie de tamices	----	Stándar U.S
Serie estándar U.S	8 x 30	ASTM D-2862
Humedad (% máx)	4 Max	ASTM D-2867
Mayor que No. 8 (%Máx)	5	ASTM D-2862
Menor que No. 0(%máx)	5	ASTM D-2862
Densidad aparente gr/cc)	0.50-0.55	ASTM D-2854
Número de todo.	900min.	ASTM D-4607
Número de dureza	98min.	ASTM D-3802
Radio medio de poro (A°)	7.8	Adsorción N <sub>2</sub>
Long. de semidecoloración (cm. máx)	6	DIN 19603
Area sup. total m <sup>2</sup> /g (mín)	900	N <sub>2</sub> BET
Contenido de cenizas (%máx)	4	ASTM D-2866

Estas especificaciones típicas corresponden a los carbones de Concha de coco

(\*) Datos faltantes por proveedor o contratista de ingeniería de detalle

## Requisitos de diseño y construcción

## Sección 4

Grupo		Descripción de dibujos y documentos	Preliminar con oferta Técnico-comercial
No.	Sufijo		
1	P	Lista de equipo y materiales	1p
2	P	Arreglo de equipo	1p
3	P	Diagramas de tubería e instrumentación	1p
3	P	Hojas de datos de equipos	1p
3	P	Memoñas de cálculo	1p
3	P	Pesos de equipo en operación, vacío y embarque	1p
3	P	Literatura técnica	1p
3	P	Unifiares eléctricos	1p
3	P	Descripción del proceso y sistema mecánico	1p
3	P	Cargas para cimentación del equipo	1p
3	P	Dibujos dimensionales en planta y elevación	1p
3	P	Lista de partes de repuesto para arranque y operación normal para 2 años.	1p

Estatus de suministro: Preliminar

Código de sufijo:

P = Dato prioritario; p = Papel impreso.

**REQUISICION No. P-104**

**MEZCLADORES ESTATICOS  
PARA**

**PROYECTO PLANTA POTABILIZADORA TULYEHUALCO 5**

**Cd. de México**

**México D.F.**

**Tipo de Orden:** Mezclador Estático

**Nivel de Datos Técnicos necesarios para:** Evaluación Técnica

**Requiere Revisión Técnica:** Sí

Rev	Fecha	Por	Reviso

**CONTENIDO**

SECCION 1	Requisición
SECCION 2	Datos de Diseño y Proyecto
SECCION 3	Requisitos de diseño y construcción
SECCION 4	Requisitos de Datos y Dibujos de Proveedor

## Requisición

## Sección 1

El proveedor deberá suministrar los siguientes Mezcladores Estáticos, que incluyen pero no se limitan al siguiente equipo de materiales:

Clave-No.	Cantidad	Unidad	Descripción
ME-01	1	pza.	Mezclador Estático
	1	lote	Partes de repuesto para 2 años de operación

Total de esta requisición: 2

El proveedor deberá garantizar el equipo por un periodo de (12) doce meses después del arranque o (24) veinticuatro meses después de la fecha de embarque, lo que ocurra primero.



**Localización Geográfica**

1	Nombre de la planta:	Tulyehualco 5
2	Localización:	Av. Div. Del Norte y Manuel A. Camacho
	Estado:	México D.F.
	Delegación	Xochimilco
3	Altitud sobre el nivel del mar	2300 m
4	Coordenadas	
	Latitud (Norte)	99° 02'
	Longitud (Oeste)	19° 12'
5	Presión Barométrica Media	584 mm Hg.

**Condiciones Climáticas**

1	Temperatura	30 °C
	Máxima Extrema	33 °C
	Mínima Extrema	
	Bulbo seco invierno/verano	4/30 °C
	Bulbo húmedo	6.5 °C.

## Especificaciones Técnicas

## Sección 3

## Especificaciones Técnicas del Mezclador Estático

Códigos y Estándares Industriales aplicables (Última edición):

ANSI American National Standards Institute

ASTM American Society for Testing and Materials

## Tag: ME-01

Componente No.	unidades	1	2	Mezcla
Fluido		agua	hipoclorito 12.5%	agua clorada
Flujo	lts/seg	51	2 lts/hr	≈ 51
Viscosidad	cP	1.004	≈ 1.0	1.004
Densidad	kg/l	0.998	1.2	0.9980
Temperatura	°C	20	20	20
Presión oper	kg/cm <sup>2</sup>	3.0	3.0	3.0

## Aplicación:

Mezclado turbulento de líquidos miscibles

Caida de presión permisible:	< 0.50 kg/cm <sup>2</sup>
Caida de presión de diseño:	0.50 kg/cm <sup>2</sup>
Modelo:	SULZER CHEMTEC o similar
Tipo:	SMVL o similar
Elementos:	3 (a ser verificado por el proveedor)
Presión de operación:	3.0 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de diseño:	35 °C
Especificación de la tubería:	10" ac. al carbón sin costura Ced. 40
Máxima longitud disponible:	300 mm
Elementos removibles requeridos:	si
Dosificador	1" tubería de polipropileno (PPL)
Espesor o cédula envolvente:	40
Material de recubrimiento interno:	Polipropileno (PPL)
Conexiones terminables:	ANSI 150 # R.F.
Peso:	(*) kg.

## Material de construcción:

Elementos Polipropileno

Envolvente Ac al carbón

Bridas Ac al carbón.

REQUISICION No. P-105

ARENA SILICA, GRAVA SOPORTE Y CARBON ACTIVADO PARA FILTROS  
PARA

PROYECTO PLANTA POTABILIZADORA TULYEHUALCO 5

Cd. de México

México D.F.

Tipo de Orden: Materiales

Nivel de Datos Técnicos necesarios para: Cotizaciones

Requiere Revisión Técnica: no

Rev.	Fecha	Por	Reviso

CONTENIDO

SECCION 1	Requisición
SECCION 2	Requisitos de Datos y Dibujos de Proveedor.

**Requisitos de datos y dibujos del proveedor**

**Sección 4**

Grupo	Descripción de dibujos y documentos		Con la propuesta de proveedor
No.	Sufijo		
1	P	Dibujos dimensionales	1p
2	P	Hojas de datos complementada	1p
3	P	Peso de operación y embarque	1p
4	P	Literatura técnica y catálogos	1p
5	P	Lista de partes de repuesto para 2 años de operación normal	1p

Código de sufijo de grupo:

P = Datos prioritario

Con la propuesta del proveedor:

p = Fotocopia

NOTA:

La empresa SULZER de México S.A. de C.V. División Equipo Industrial, facilitó la requisición de mezcladores estáticos tipo SMVL, el Diagrama típico de Proceso se encuentra al final del apartado 2.1 (Cloración al Punto de Quiebre).

## Requisición

## Sección 1

El proveedor deberá suministrar los siguientes Materiales para filtros que incluyen pero no se limitan al siguiente equipo de materiales:

Cantidad	Unidad	Descripción
2.292	m <sup>3</sup>	Arena sílica para filtración de acuerdo a especificaciones indicadas en esta requisición
4.584	m <sup>3</sup>	Antracita
45.81	m <sup>3</sup>	Carbón activado
2.16	m <sup>3</sup>	Grava soporte de 1/8"
2.16	m <sup>3</sup>	Grava soporte de ¼"
2.66	m <sup>3</sup>	Grava soporte de ½"
2.66	m <sup>3</sup>	Grava soporte de ¾"

Nota: Todas las cantidades incluyen un 10 % adicional.

Total de esta requisición: 7

El proveedor deberá garantizar el material por un periodo de (12) doce meses después del arranque o (24) veinticuatro meses después de la fecha de embarque, lo que ocurra primero.

**Especificaciones para el medio filtrante:  
Arenasilica, antracita, carbón activado y grava**

**1.0 Alcance**

Esta especificación establece los requisitos mínimos para las propiedades químicas, físicas, pruebas e inspección para la arena silica y grava soporte a ser utilizada en plantas de tratamiento de aguas por el proceso de filtración a presión.

**1.1 Códigos, normas y estándares de referencia  
American Society for Testing and Materials (ASTM)**

C188 - Test Methods for Specific Gravity and Absorption of Coars Aggregates  
04.02, 04.03

C136 - Methos for Sieve Analysis of Fine and Coars Aggregates 04.02,04.03

D75 - Practice for Sampling Aggregates 04.02, 04.03, 04.08.

**AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA)**  
B100-89 yb addendums B100a-91 y B100b-92

**1.2 Definiciones**

1.2.1 El tamaño efectivo es definido como el tamaño de abertura por el que pasa el 10% en peso del material filtrante.

1.2.2 El coeficiente de uniformidad es definido como la relación del tamaño de abertura por el que pasa el 60% en peso del material filtrante dividido por el tamaño de abertura por el que pasa el 10% en peso de la misma muestra.

1.2.3 Todo el material deberá ser nuevo y no usado.

**1.3 Arena**

La arena de filtración deberá ser un material siliceo para la remoción de sólidos suspendidos del agua. Las partículas deberán tener una forma redondeada que tendrá hacia la forma esférica. Estas partículas deberán tener suficiente dureza para resistir la degradación durante el manejo y servicio. Todo el material deberá ser doblemente lavado y estar libre de arcilla, esquisto y otros materiales y basuras. La arena deberá cumplir con las siguientes características:

Tamaño efectivo	0.60 mm
Coefficiente de uniformidad	1.7
Tamaño del percentil 60	1.02 mm
Esféricidad ( $\phi$ )	0.8
Porosidad (e)	0.475
Factor de forma (S)	7.5
Gravedad específica (Ss)	2.650
Solubilidad en ácido	5% máximo

**1.4 Antracita**

La antracita debe tener una dureza de 2.7 o mayor en la escala de Moh, su capacidad de retención es mayor que la de la arena, se usa con tamaños efectivos entre 0.6 y 1.4 mm, los tamaños entre 0.6 y 0.8 mm se prefieren cuando se la emplea como el único medio

filtrante y los tamaños entre 0.8 y 1.4 mm cuando se le utiliza en lechos de arena - antracita. Las especificaciones de la antracita se presentaron en la requisición de los filtros.

### 1.5 Carbón activado

El carbón activado tiene la función de adsorber los remanentes de sólidos y DQO del agua del pozo Tulyehualco 5 que originan mal olor, sabor y color. Las especificaciones se presentan en la tabla siguiente:

#### Medio filtrante

Especificaciones y propiedades del carbón activado (Concha de coco).

Propiedades físicas	Valores	Norma
Serie de tamices	-----	Stándar U.S.
Serie estándar U.S	8 x 30	ASTM D-2862
Humedad (% máx)	4 Max.	ASTM D-2867
Mayor que No. 8 (%Máx)	5	ASTM D-2862
Menor que No. 30(%máx)	5	ASTM D-2862
Densidad aparente (gr/cc)	0.50-0.55	ASTM D-2854
Número de lodo.	900min.	ASTM D-4607
Número de dureza	98min.	ASTM D-3802
Radio medio de poro (A°)	7.8	Adsorción N <sub>2</sub>
Long. de semidecoloración (cm. máx)	6	DIN 19603
Area sup. total m <sup>2</sup> /g (mín)	900	N <sub>2</sub> , BET
Contenido de cenizas (%máx).	4	ASTM D-2865

Estas especificaciones típicas corresponden a los carbones de Concha de coco

### 1.6 Grava soporte

La grava es un material agregado grueso que será usado para soportar el medio filtrante. Todo el material deberá ser doblemente lavado y deberá estar libre de arcilla, arenisca, esquisito y basura, las partículas deberán ser de forma redondeada tendiendo a la esférica, deberán tener la suficiente dureza para resistir la degradación durante el manejo y servicio. Toda la grava deberá cumplir con las siguientes características:

Tamaño de la partícula	1/8 " , 1/4 " , 1/2" , 3/4"
Grava mayor que el tamaño más grande	8% peso máximo
Grava mayor que el tamaño más pequeño	8% peso máximo
Gravedad específica	2.5 a 2.6
Densidad aparente	1746.8 kg/m <sup>3</sup> (109 lb/pie <sup>3</sup> )
Partículas fracturadas	25% peso máximo
Partículas planas	2% peso máximo
Solubilidad en ácido	17.5 % máximo

### 1.7 Pruebas de cumplimiento

Se requiere que las muestras de arena sílica sean tomadas de cada lote en cumplimiento con las recomendaciones y practicas de AWWA B100, AWWA B604 y ASTM D75.

Las muestras deberán ser probadas de acuerdo con los siguientes procedimientos como mínimo para asegurar que el material cumple con esta especificación. La aceptación o rechazo del embarque deberá estar basada sobre el material como se recibió en su destino. Muestras adicionales podrán ser tomadas y analizadas una vez que se haya recibido el material. la calidad del medio filtrante deberá ser determinada por los siguientes procedimientos:

- |  |            |
|--|------------|
| ▪ Solubilidad en ácido                 | AWWA B100  |
| ▪ Gravedad específica                  | AWWA B188  |
| ▪ Distribución del tamaño de partícula | AWWA C136. |

### 1.8 Documentación

El proveedor deberá suministrar un certificado de análisis. El certificado deberá tener como mínimo la siguiente información:

- Número de orden de compra
- Numero de lote de fabricante
- Fecha de procesamiento
- Fecha de embarque
- Volumen de embarque (volumen y peso)
- Tamaño físico y datos químicos.

### 1.9 Empaque para embarque

El material granular deberá ser embarcado en bolsas o contenedores apropiados de acuerdo a las practicas estándar del fabricante y aprobadas por las Leyes de Transporte correspondientes.

### 1.10 Embarque

El embarque a granel no es aceptable. El medio granular deberá ser peletizado y asegurado apropiadamente antes de su embarque.

#### Escalera fija

Se deberán instalar escaleras fijas donde los trabajadores necesiten pasar regularmente de un nivel a otro.

Las escaleras fijas deberán estar diseñadas de tal manera que soporten una carga de cinco veces la carga viva normal prevista, pero nunca deberá soportar una carga menor a una carga concentrada móvil de 1000 libras

#### Especificaciones Técnicas

Ancho mínimo: 22".

Angulo de la escalera con respecto a la horizontal: 30-50 grados.

Se deberán colocar barandales en ambos lados de las escaleras descubiertas.

La escalera cerrada deberá llevar pasamanos por lo menos de un lado, de preferencia del lado derecho según se baja.

Cada escalón y nariz o mampirán deberán ser razonablemente antiderrapantes.

Las escaleras cuyos escalones sean de menos de 9 pulgadas de ancho deberán tener contrahuellas abiertas. Los peldaños con emparillado abierto son adecuados para las escaleras exteriores.

#### Dimensiones mínimas:

Pernos de 1/2 diámetro

Agujeros para los pernos de 9/16 de diámetro.

Se deben quitar todas las rebabas y los bores agudos.



**Notas:**

No se requiere jaula de protección cuando el escalamiento es de 20 pies o menor arriba del nivel de piso.

Deberá proveerse una plataforma de descanso desplazada horizontalmente por lo menos cada 30 pies de longitud de escalamiento. En donde se utilicen dispositivos de seguridad deberán proveerse plataformas de descanso a intervalos máximos de 250 pies.

Todo el material debe ser de acero tipo A 36 ASTM.

Recubrimiento de protección, una mano de primario de taller y una mano de pintura de campo o galvanizado por inmersión en caliente.

Las dimensiones de contrahuella (C) y el ancho del escalón (E) se muestran en la tabla siguiente:

Angulo con respecto a la horizontal	Contrahuella (C) (pulg)	Ancho del escalón (pulg)
30° 35'	6 ½	11
32° 08'	6 ¾	10 ¾
33° 41'	7	10 ½
35° 16'	7 ¼	10 ¼
36° 56'	7 ½	10
38° 29'	7 ¾	9 ¾
40° 08'	8	9 ½
41° 44'	8 ¼	9 ¼
43° 22'	8 ½	9
45° 00'	8 ¾	8 ¾
46° 16'	9	8 ½
48° 16'	9 ¼	8 ¼
49° 54'	9 ½	8

\* Ver típico del arreglo de la escalera fija.

**Plataforma**

Las plataformas deberán fabricarse en secciones, en caso necesario, adecuadas para embarque y montaje en campo.

Las plataformas fabricadas en secciones deberán ajustarse en taller, marcarse y desarmarse para embarque.

Todas las uniones de campo deberán ser mediante tornillos. El fabricante deberá entregar 10 % de tornillos extra de cada tamaño para los repuestos.

Deberán eliminarse todas las rebabas y filos agudos.

Pintura: una mano de primario de taller, excepto en las superficies para caminar.

### ESCALERA FIJA

Según las especificaciones de  
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (OSHA) STANDARDS

Se deberán instalar escaleras fijas donde los trabajadores necesiten pasar regularmente de un nivel a otro.

Las escaleras fijas deberán estar diseñadas de tal manera que soporten una carga de 5 veces la carga viva normal prevista, pero nunca deberá soportar una carga menor a una carga concentrada móvil de 1000 libras.

Ancho mínimo: 22 pulgadas.

Angulo de la escalera con respecto a la horizontal: 30 a 50 grados.

Se deberán colocar barandales en ambos lados de las escaleras descubiertas.

La escalera cerrada deberá llevar pasamanos por lo menos en un lado, de preferencia del lado derecho según se baja.

Cada escalón y nariz o mampirlán deberán ser razonablemente antiderrapantes.

Las escaleras cuyos escalones sean de menos de nueve pulgadas de ancho deberán tener contrahuellas abiertas. Los peldaños con emparillado abierto son adecuados para las escaleras exteriores.

Ver figura para las dimensiones mínimas. Pernos de 1/2 diámetro.

Agujeros para los pernos de 9/16 de diámetro.

Se deben quitar todas las rebabas y los bordes agudos.

Las dimensiones de la contrahuella (C) y el ancho del escalón (E) se indican en la siguiente tabla:

Angulo con respecto a la horizontal	Contrahuella (pulg)	Ancho del escalón (pulg)
30° 35'	6 1/4	11
32° 03'	6 3/4	10 3/4
33° 41'	7	10 1/2
35° 16'	7 1/4	10 1/4
36° 52'	7 1/2	10
38° 29'	7 3/4	9 3/4
40° 08'	8	9 1/2
41° 44'	8 1/4	9 1/4
43° 22'	8 1/2	9
45° 00'	8 3/4	8 3/4
46° 38'	9	8 1/2
48° 16'	9 1/4	8 1/4
49° 54'	9 1/2	8

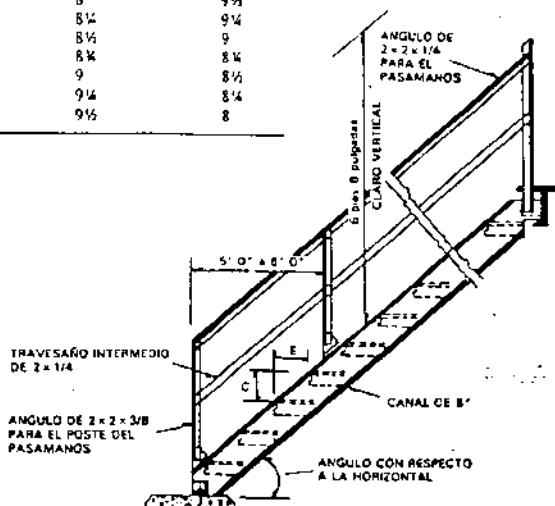


Figura 1.1-I.- Típico Arreglo de Escalera Fija.

## **Resumen**

La presentación de la ingeniería aplicada a plantas potabilizadoras a pie de pozo, dirigido a profesionistas de diversas formaciones, que incursionan en la ingeniería ambiental, se ha hecho mostrando los criterios, aplicaciones y avances que se tienen a la fecha del tema.

La estructura del trabajo gira alrededor de los procedimientos empleados para el diseño básico y conceptual de una ingeniería, en donde la principal fuente de información es la bibliografía especializada, de donde son extraídas las herramientas técnicas que nos ayudan a definir los criterios a tomar para el diseño de cada uno de los componentes del proceso dentro de las plantas potabilizadoras a pie de pozo.

Como introducción al tema se presentó un resumen de los términos y conceptos empleados dentro del desarrollo de la ingeniería básica. La finalidad de este resumen es, por un lado, presentar la secuencia lógica que se llevan a cabo para seleccionar un determinado sistema de potabilización, es decir, desde el tratamiento de datos hasta su desarrollo matemático y conceptual, y por otro lado se presenta la metodología de diseño en donde se incluyen tanto las ecuaciones básicas de proceso que aplican como las ecuaciones básicas de la hidráulica como son: la ecuación de continuidad, la de Bernoulli, por citar algunas.

En el presente trabajo también se hace uso de información obtenida experimentalmente, esta información se refiere a velocidades de flujo, dosis óptima de reactivos, cargas hidráulicas de filtración, gradientes de velocidad, etc, información que es fundamental para el diseño de ingeniería básica, y para lo cual se recomienda llevar a cabo un análisis profundo. Además, los métodos y procedimientos que se aplican en este trabajo fueron ajustados directamente a un caso real del manejo del agua en Plantas Potabilizadoras.

Una vez que se tienen claros los conceptos y términos fundamentales, la aplicación de los procedimientos de cálculo y selección se pueden comprender con mayor facilidad.

De los datos de diseño para el proyecto de plantas potabilizadoras de agua, los de mayor importancia, sobre todo para el diseño hidráulico, son: el gasto máximo, el cual fue medido por el método de pitometría. Una vez definido el gasto, el siguiente paso es la identificación de los contaminantes del agua del pozo en cuestión, para lo cual se cuenta con una base de datos históricos los cuales muestran una caracterización completa de la calidad del agua del pozo a través de varios años, se cuenta también con una base de antecedentes experimentales. Posteriormente se realiza el tratamiento de estos datos históricos hasta obtener los niveles de concentración que rebasan los límites establecidos por la norma oficial vigente.

Una vez identificados los contaminantes y sus respectivas concentraciones se realiza un estudio de las posibles alternativas de tratamiento, llegando así a la selección del proceso que permita eliminar, de manera eficiente, un alto porcentaje de los contaminantes que afectan directamente la características organolépticas del agua del pozo.

Ya conocidos el gasto, teniendo una caracterización completa del agua de estudio y habiendo seleccionado el tren de tratamiento que ha de potabilizar el agua, se efectúa el arreglo general de equipo y tuberías con la finalidad de esquematizar la secuencia y ubicación de las operaciones y/o procesos participantes en el sistema de potabilización, anexando los planos funcionales para complementar gráficamente el tren de proceso.

Posteriormente habrá que efectuar el cálculo del diámetro de las líneas de alimentación y descarga y paralelamente el predimensionamiento de las unidades de proceso.

La selección del diámetro de las tuberías de interconexión, implica obtener las pérdidas de carga adecuadas, por velocidad, longitud y piezas especiales, en este caso se aplican los métodos ya conocidos como son: Darcy Weisbach, Hazen - Williams y Manning, entre otros.

Así mismo durante el dimensionamiento de las unidades de proceso se definen y especifican los materiales que forman parte de los lechos filtrantes, es decir, alturas de empaque tanto de arena como de grava soporte y carbón activado. Es importante también especificar las características técnicas de los materiales y más aún las pérdidas de carga que estos materiales provocan tanto a lecho limpio como a lecho sucio.

Una planta Potabilizadora es como un traje a la medida, esto significa que se deben considerar los factores más importantes que inciden en el diseño hidráulico, estos son: Ubicación de la estación de bombeo de agua cruda, el tipo de planta, las pérdidas de carga esperadas por la misma y los alcances del sistema en conjunto.

El diseño funcional está muy ligado al diseño hidráulico, por lo tanto se deben considerar profundidades de los tanques y tipo de alimentación, velocidades mínima y máxima recomendadas para el tipo de flujo que se maneja. Igualmente se requiere conocer el funcionamiento de las unidades de proceso o bien tener una amplia comunicación con el especialista en el diseño funcional de la planta y entre ambos proponer las soluciones hidráulicas más adecuadas al tipo de planta.

Este trabajo es una recopilación de experiencias, materiales de aplicación práctica y métodos de uso común, para cubrir la parte correspondiente al diseño básico de hidráulica y de proceso dentro del proyecto integral de una Planta Potabilizadora a Pie de Pozo.

## Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados, y atendiendo específicamente al objetivo particular, se puede decir que el proceso seleccionado es altamente eficiente para remover Mn, pues los resultados obtenidos (estimados) indican que se cumple con los requerimientos de calidad establecidos por la NOM-01-127SSA1-1994.

La siguiente tabla de calidad muestra los resultados estimados para la remoción del Mn después de haber pasado por el tren de tratamiento.

**Tabla I**  
**Calidad del Efluente final**

Manganeso Total	< 0.05 mg/l
Turbidez	< 5 NTU
Color	< 20 UPU/Co
pH	6.5 a 8.5
Olor	Inodoro

Nota: Para mayores detalles se puede consultar el Balance de Materiales en el Capítulo 4.

Por otro lado, la interpretación de los resultados arrojados por los cálculos, para facilitar su entendimiento, es complementada en algunos casos por una representación gráfica así como también con el dimensionamiento de cada unidad de proceso, esquematizados todos estos por un dibujo o típico de proceso.

En conclusión, y una vez cubiertos los objetivos, se puede decir que otro de los propósitos importantes de este trabajo es el de servir como una herramienta más de consulta tanto a los compañeros y profesores que incursionan dentro de algún área de la Ingeniería Ambiental como aquellos compañeros que inician su actividad dentro de la misma Ingeniería, invariablemente de la disciplina, ya que a través de su entendimiento se facilitará el trabajo profesional y la enseñanza a las personas interesadas en el tema, pues en la consulta de este trabajo o mejor dicho de las herramientas contenidas se puede lograr minimizar los espacios de tiempo empleados en otras búsquedas.

## ***REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

## Referencias Bibliográficas

1. **Active Carbón**  
Bansal, Donnet, Stoeckli, Newyor Newyor, 1978
2. **El Carbón Activado Granular en el Tratamiento del Agua**  
Germán Grozo Cruzado, Aconcagua Ediciones y Publicaciones S.A. de C.V.
3. **Elements of Water Supply and Wastewater Disposal**  
G.M. Fair, J.C. Geyer, D.A. Okun  
Wiley International Edition, Toppan Company, Ltd. Tokyo Japan  
Second Edition, 1971.
4. **Hidráulica Aplicada al Proyecto de Plantas de Tratamiento de aguas**  
IMTA - UNAM.
5. **Hidráulica básica**  
Andrew L. Simon, 1994, Edit. Limusa
6. **Fundamentos de control de la calidad del agua**  
Herman E. Hilleboe, M.D., Limusa, Primera ed. 1964
7. **Hidraulics in Water and Wastewater Treatment Technology**  
Imre Horvath, Akademiai Kiado/John Wiley & Sons, Budapest/Hungary, 1994.
8. **Ingeniería Básica de Procesos para Plantas Potabilizadoras a Pie de Pozo**  
DGCOH, Abril 1997.
9. **Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos.**  
Ramón Sans Fonfría, Joan Pablo, Primera edición, Barcelona España 1989, edit.  
Boixareu.
10. **Informe sobre las experimentaciones realizadas para potabilizar el agua**  
Unidad experimental de Potabilización Avanzada (DGCOH), Junio 1997
11. **Introducción a la Ingeniería de Proyectos**  
G. Gamow, Primera ed. 1972, Ed. Limusa
12. **Implantación de Plantas**  
J.C. Mecklenburg, 1978, ediciones del Castillo
13. **Manual de tratamiento de aguas**  
T.H.Y. Tebbutt. PergamonPress, Ltd, Third Edition. 1980
14. **Manual de Hidráulica.**  
J.M. de Azevedo, Guillermo Acosta A., Editorial Harfa, S:A: de C.V., México, 1976.
15. **Manual Técnico del agua**  
Degrémont, Cuarta Edición Española, LTD.

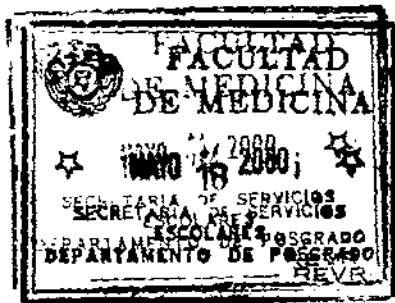
16. **Manual de Tratamiento de aguas**  
Raul Guerrero T, editorial Limusa México, 1964
17. **New Concepts in Water Purification**  
Gordon L. Culp and Russell L. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, Van Nostrand Reinhold Company, New York., 1974.
18. **The Nalco Water Handbook**  
Frank N. Kemmer, editor, Nalco Chemicals Company.  
McGraw-Hill Book Co., International Editions, Chemical Engineering Series, Second Edition, 1988.
19. **Operación de la planta experimental de Santa María Aztahuacán.**  
Proyecto D.G.C.O.H
20. **Principles of Water Quality Control**  
T.H.Y. Tebbutt, Pergamon Press, Ltd, Third Edition. 1990.
21. **Procesos de Adsorción con Carbón Activado Granular**  
Dra. Rosa Ma. Ramírez Zamora, Instituto de Ingeniería UNAM
22. **Proyecto Para la Adecuación de los Procesos de Potabilización de los Pozos con Calidad Deficiente en el D.F.**  
Tecnología Ambiental y Construcciones S.A de C.V., Octubre 1995
23. **Tratamiento de Aguas Residuales**  
R.S. Ramalho, edit. Reverte 1993.
24. **Teoría y Practica de la Purificación del Agua**  
Jorge Arboleda Valencia, 1992
25. **Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales.**  
Metcalf-Eddy, Primera edición, mayo 1977, edit. Labor S.A.
26. **Tratamiento Vertido y reutilización**  
George Tchobanoglous, Tercera edición, Edit. McGraw-Hill
27. **Water Treatment Plant Design.**  
A. Amirharajah, Chapter 28, Design of Granular-Media Filter Units, Robert Sanks, Editor, Ann Arbor Science Publisher, Michigan, Fourth Printing, 1982
28. **Water Treatment principles & Design.**  
James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc.  
Wiley Interscience, New York, 1985.
29. **Water Supply and Sewerage.**  
E. W. Steel and Terence J. Mc Ghee  
Fifth Edition, 1979 Mc Graw-Hill Kogakusha, LTD.
30. **Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer.**  
Robert L. Sanks., Ann Arbor Science, The Butterworth Group, fourth printing, 1982.



- 31. Water and Wastewater Chlorination.**  
White, G.C., Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1972
- 32. Wastewater Treatment Plant Design, a manual of practice, MOP/8**  
By A joint Committee of the Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers, 1977, pag. 396-399.
- 33. Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer.**  
Robert L. Sanks., AnnArbor Science, The Butterworth Group, fourth printing, 1982.
- 34. Water and Wastewater Chlorination.**  
White, G.C., Van Nostrand Reinhold Co. New York, 1972
- 35. 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.

#### Catálogos y revistas

- 36 Sulzer Chemtech**  
Mezcladores estáticos para el agua y el tratamiento de aguas
- 37 Sulzer Technical**  
Revista 3-1984
- 38 Carbón Activado**  
Clarimex
- 39 Encore 700**  
44-Series diaphragm metering pump, Wallace and Tieman



## **ANEXO**

**1.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

**2.- PLANOS FUNCIONALES**

**3.- DATOS TECNICOS DE SELECCIÓN DE EQUIPO**

*\* Bombas Dosificadoras.*

*\* Mezcladores Estáticos en Línea.*



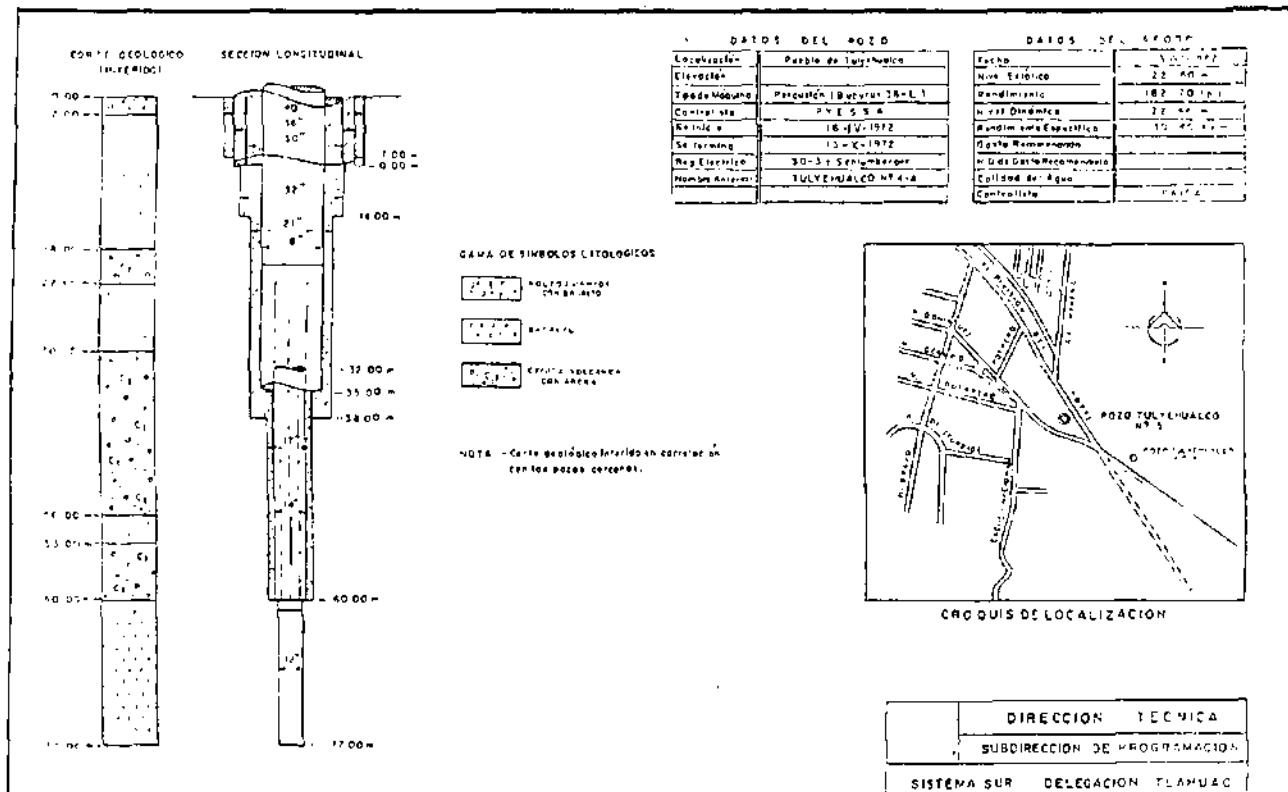
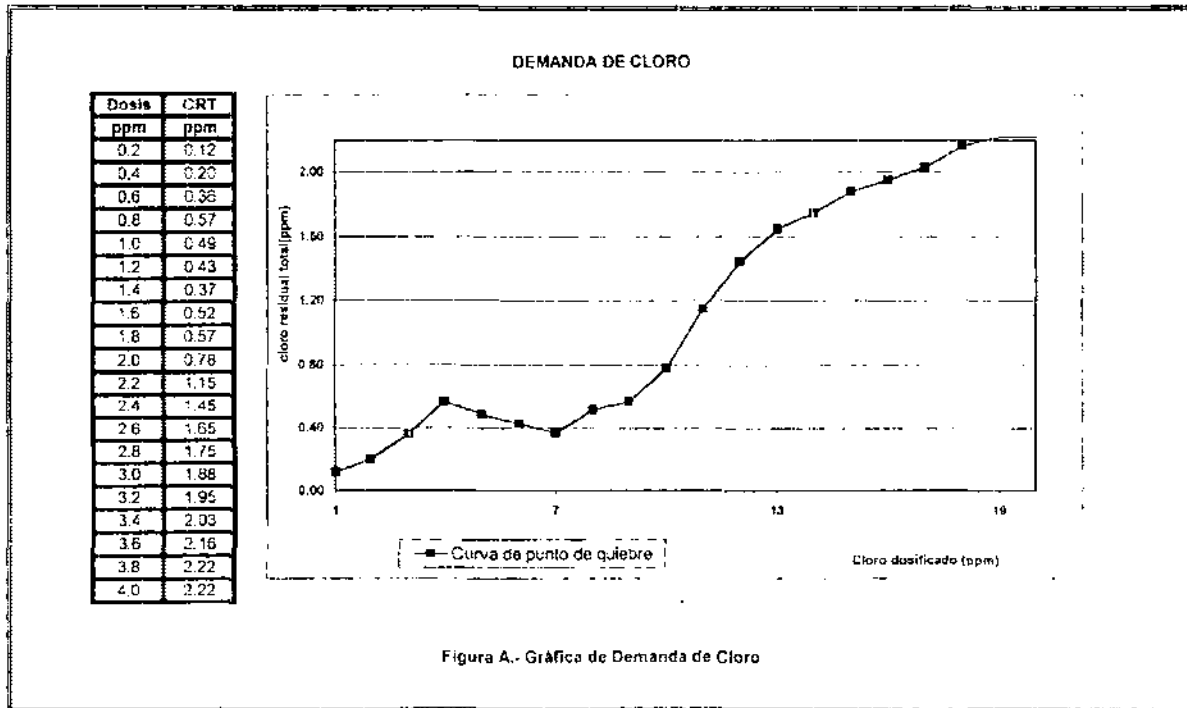


Figura 1.1-I.- Corte Litológico del Pozo

Corte Litológico del Pozo



LISTA DE EQUIPOS Y MOTORES

CLAVE	REV.	DESCRIPCION	TIPO	FLUIDO	FLUJO DE DESERO m <sup>3</sup> /h	TDM m. c. a.	EFICIENCIA % / 100	HP MOTOR	MATERIAL BASICO
A - 01A	C	Agitador del tanque clasificador de hipoclorito de sodio	Propela	Hipoclorito de sodio 5 %	2 Propelas de 0.5 a 420 RPM			1/2	SS316
A - 01B	C	Agitador del tanque clasificador de hipoclorito de sodio	Propela	Hipoclorito de sodio 5 %	2 Propelas de 0.5 a 420 RPM			1/2	SS316
BP - 01	C	Bomba del agua Talmatenco S	Profunda	Agua de pozos	201.96	> 1.2	0.75	100	Acero al carbon
BR - 02	C	Bomba de agua a red de distribución	Centrifuga	Agua potable	201.96	> 1.8			
BR - 03	C	Bomba de agua a red de agua de retrolavado a CA	Centrifuga	Agua potable	201.96	> 1.2	0.75	40	Acero al carbon
BC - 01A	C	Bomba dosificadora de NaOC (oxidación)	Diaphragma	NaClO al 12.5%	0.002458	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	60	1/4	Tañon / PPL
BC - 01B	C	Bomba dosificadora (reserva) NaOC	Diaphragma	NaClO al 12.5%	0.002458	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	60	1/4	Tañon / PPL
BC - 02A	C	Bomba dosificadora de NaClO (desinfección)	Diaphragma	NaClO al 12.5%	0.003841	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	60	1/4	Tañon / PPL
BC - 02B	C	Bomba dosificadora (reserva) NaClO	Diaphragma	NaClO al 12.5%	0.003841	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	60	1/4	Tañon / PPL

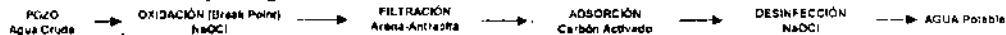
CLAVE	REV.	DESCRIPCION	TIPO	TIEMPO DE DETENCION min dias	CAPACIDAD NOMINAL	PRESION DE OPERACION Kg / cm <sup>2</sup> (man.)	TEMPERATURA DE DESERO °C	MATERIAL BASICO
TC - 01	C	Tanque de contacto de cloro	Vertical	15		ATMOSFERICA	20	CONCRETO
TD - 01A/B	C	Tanque dosificador de NaClO	Vertical	5		ATMOSFERICA	20	FRP
TB - 01	C	Calcamo de bombeo a Red de distribución	Beebe	8		ATMOSFERICA	20	CONCRETO
ME - 01	C	Mezclador estatico (claración)	Lineado	< 1 seg	56 l / seg		20	AC / PPL
ME - 104	C	Tee de mezclado (claración)	Lineado	< 1 seg	56 l / seg	3 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	AC / PPL
FA - 01	C	Filtro de arena No 1	Vertical		CHS = 15.88 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 6.5 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C
FA - 02	C	Filtro de arena No 2	Vertical		CHS = 15.88 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 6.5 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C
FA - 03	C	Filtro de arena No 3	Vertical		CHS = 15.88 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 6.5 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C
FA - 04	C	Filtro de arena No 4	Vertical		CHS = 15.88 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 6.5 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C
TA - 01	C	Torre de adsorción en cag. No 1	Vertical		CHS = 26.01 a 41.134 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 10.23 a 18.83 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C
TA - 02	C	Torre de adsorción en cag. No 2	Vertical		CHS = 26.01 a 41.134 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> Hr ( 10.23 a 18.83 GPM / ft <sup>2</sup> )	0.7 Kg / cm <sup>2</sup> (man)	20	Ac / C

## Ficha Técnica

Nombre del Pozo: Turkeywally 6  
 Ubicación: av. Dr. Sarang y calle Manuel A. Cármona (frente de la OMS)  
 Dirección y número: \_\_\_\_\_  
 Ciudad: S.L. de  
 Zonas de Abastecimiento: \_\_\_\_\_  
 Problemática: La sistema debe mejorar los parámetros de calidad de agua de pozos y a eficiencia de operación

Parámetro	Unidades	Norma	Unidad # 1		Remoción %
			Influente	Efluente	
Manganato total	mg/l	0.1	0.2136	< 0.05	90-95% (desarrollo)
Turbiedad	UNT	5		< 5	35-50% (desarrollo)
Color	U.P.C.G.	25	5.98	< 20	74 (desarrollo)
Cloro	mg/l	0.5		1.0000	90% (desarrollo)

## Proceso de Potabilización



## Objetivo de las operaciones unitarias:

La eliminación del  $\text{Mn}^{2+}$  por oxidación con  $\text{H}_2\text{O}_2$  de color.

La eliminación de turbiedad y color de los cursos de agua.

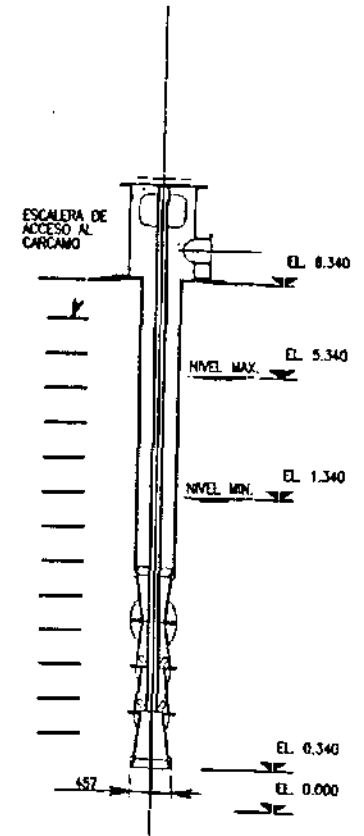
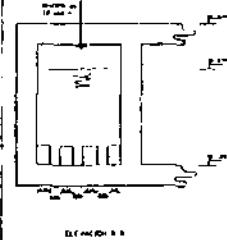
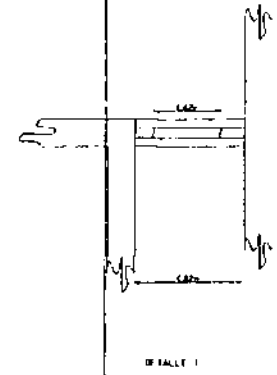
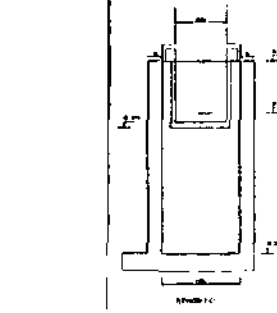
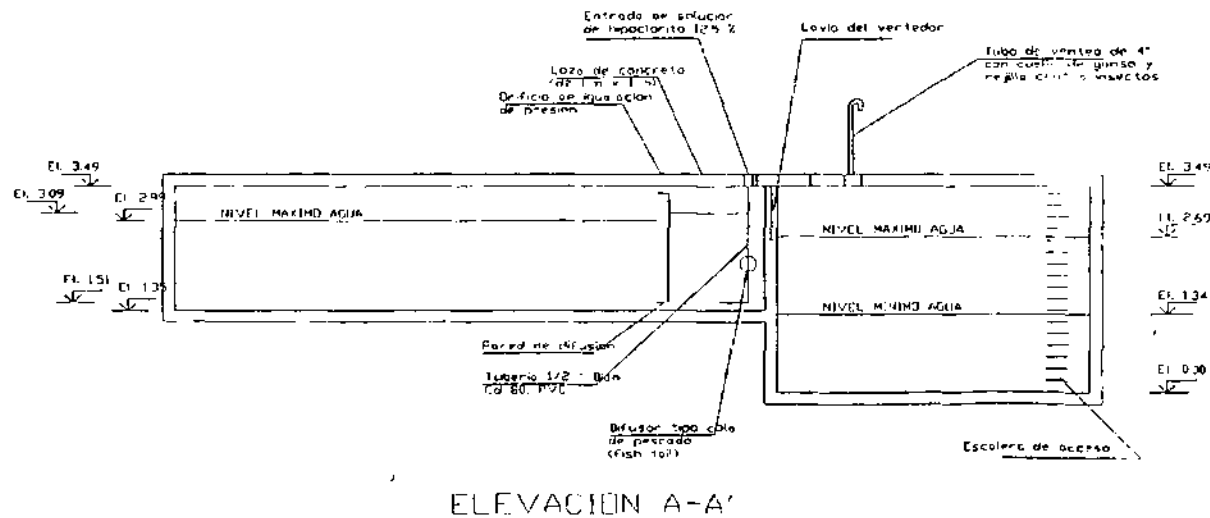
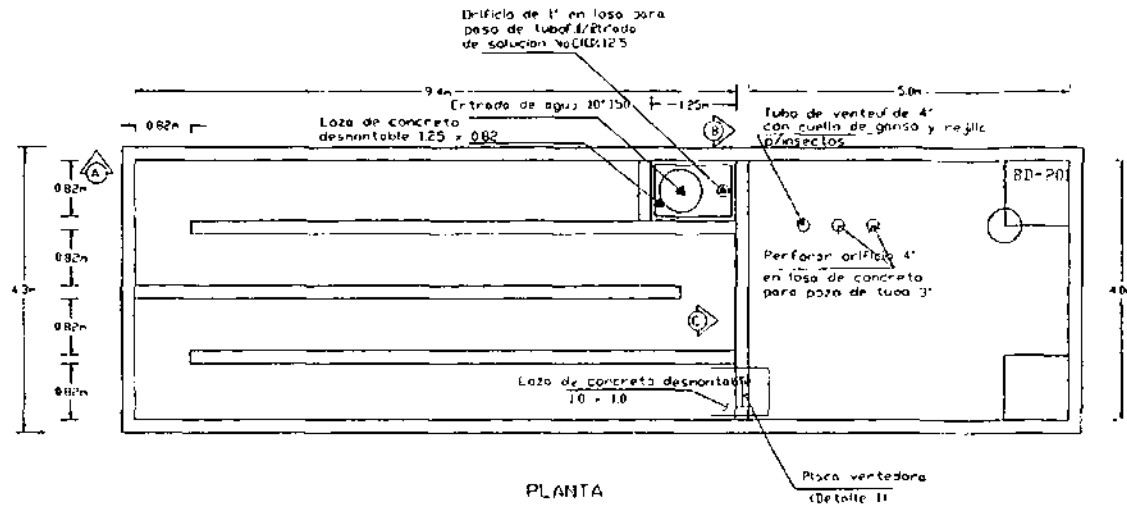
La remoción de materia orgánica, O<sub>2</sub>A y generación de precipitados para ser  $\text{Fe}^{3+}$ .

La eliminación de bacterias, virus, etc. como parásitos al estar residual que garantiza la calidad del agua durante su recepción a lo largo de la red de distribución.

## Características de las operaciones unitarias:

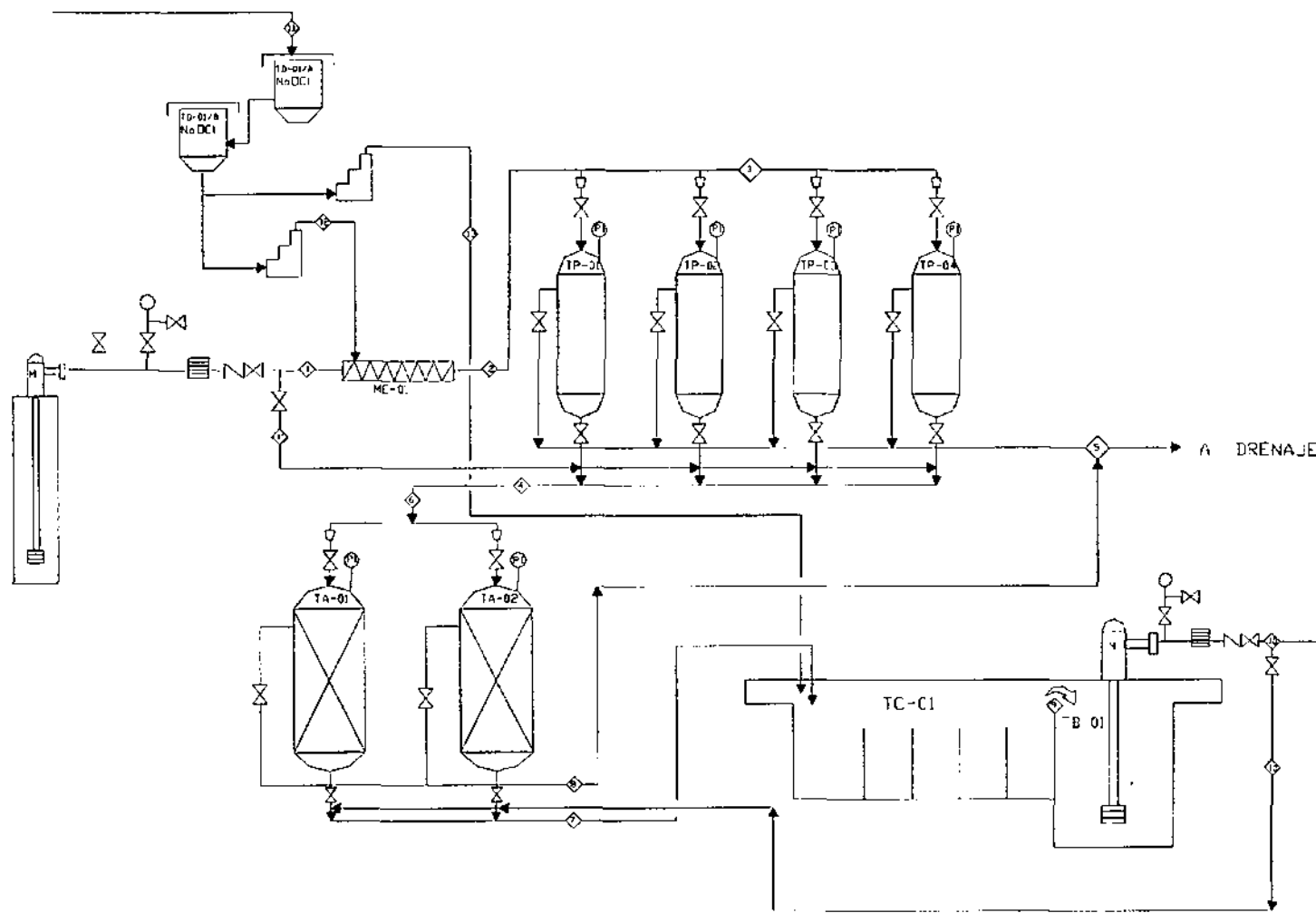
No. de unidades	1	Tipo	a presión	No. de lotes	2	Desinfectante	$\text{NaOCl}$
Materia	AC: Fe <sup>2+</sup>	Num. etapas	4	Área superficial	4.9 m <sup>2</sup>	Dosis	3 mg/l
Capa	50 cm	Diám. filtro	1.6 m	Diám. torre	2.5 m	No. de tanques	1
Área	0.0002 m <sup>2</sup>	Área filtrante	2.68 m <sup>2</sup>	Altura	0.02 m	Área de tanque	20 m <sup>2</sup>
Diámetro	0.254 m	Altura	2.805 m	C.N.S.	435.78 m <sup>3</sup> /día	Volumen del tanque	24.4 m <sup>3</sup>
Longitud	1.14 m	Mon. horiz.	AC, AC	Tem. operación	15-20°C	Tem. contacto	15 min
Temper. ambiente	1-15°C	C.N.S.	380.38 m <sup>3</sup> /día	Materia	AC, N/C	Materia	Cebado
Tipo	STLZES	C.N.S.	1518.8 m <sup>3</sup> /día	Operación	carbón activado	No. de máquinas	3
Materia	1.0 mg/l	Materia filtrante		Cap. Carb. Act.	25.85 m <sup>3</sup>	No. de canales	4
Materia residual	40 mg/l	Gravidad	40 g/m	Alt. Carb. Act.	4.675 m		
Color	7 mg/l	Alrededor	20 g/m	Gravimetría	8 x 30 máx.		
		Alrededor	20 g/m				
		Diám. del arena	0.4 mm				



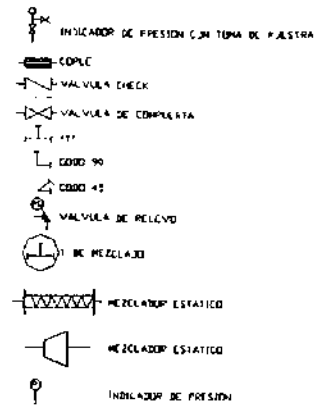


DETALLE BOMBA ALIMENTACION A RED DE DISTRIBUCION No. B-203 A/B DE RETROLAVADO DE FILTROS No. B-204

UNAM - PES ZARAGOZA	
Proyecto:	ESCALERA 5/11
Ingeniería:	PLANTAS INDUSTRIALES
Curso:	III DE APLICACION
Asignatura:	PROYECTO
VISTAS Y CORTES	
PROYECTO:	FECHA:
DISEÑO:	FECHA:
REVISO:	FECHA:



### ACCESORIOS



### EQUIPO

- B-01 BOMBA DE EXTRACCION DE AGUA DEL POZO
- B-02 A/B BOMBA DESINFECTADORA DE REACTIVO PARA DESINFECCION
- FF-01 FILTRO DE ARENA 1
- FF-02 FILTRO DE ARENA 2
- FF-03 FILTRO DE ARENA 3
- FF-04 FILTRO DE ARENA 4
- TA-01 TORRE DE ADSORCION 1
- TA-02 TORRE DE ADSORCION 2
- TC-01 TANQUE DE CONTACTO CON CLORO
- TR-01 CARGADO DE BOMBEO A RED DE DISTRIBUCION
- B-03 BOMBA DE DISTRIBUCION A RED MUNICIPAL
- B-02 A/B BOMBA DESINFECTADORA DE REACTIVO DESINFECTANTE
- B-01 A/B TANQUE DESINFECTADOR DE NADCI

UNAM FES ZARAGOZA

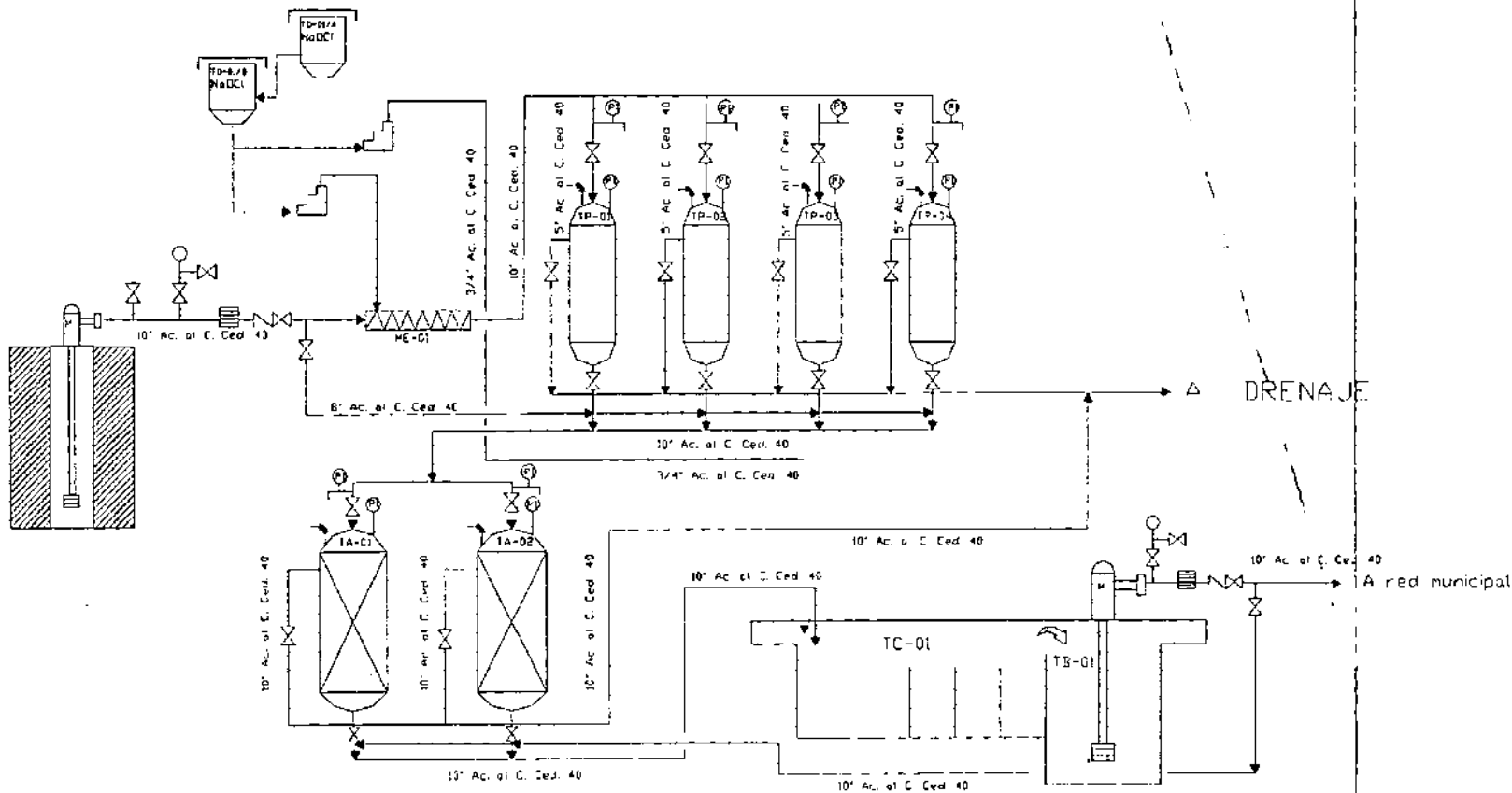
Proyecto: ESCALA: SIN  
 INGENIERIA BASICA PLANO NO (IP-DFP-01)  
 DE PROCESO NO DE ARCHIVO  
 FECHA REV

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

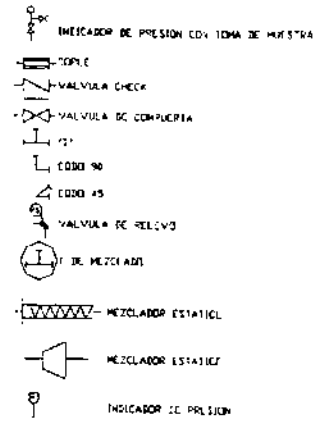
PROYECTO FECHA

DIBUJO FECHA

REVISO FECHA



### ACCESORIOS

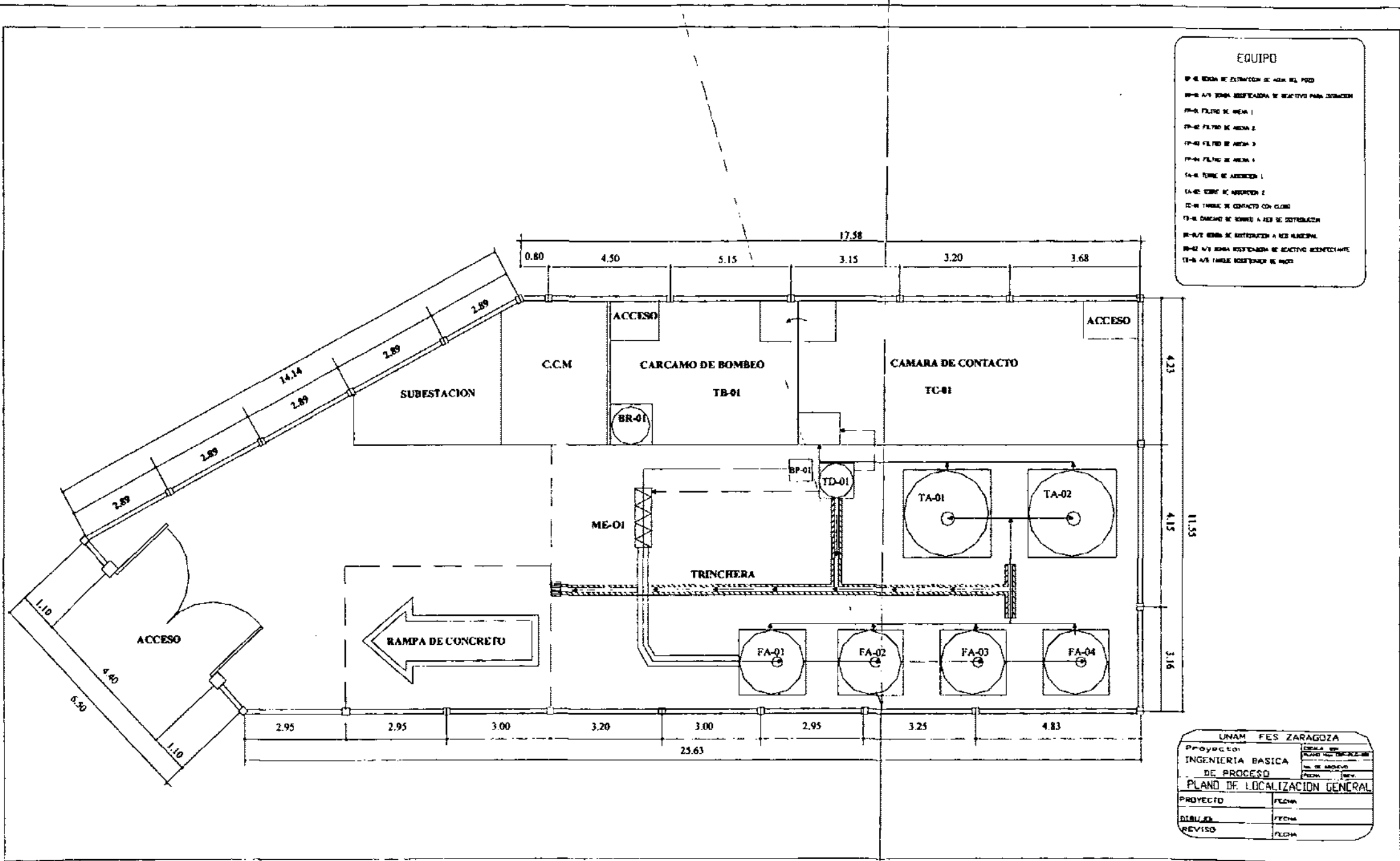


### EQUIPO

- BP-01 BOMBA DE EXTRACCION DE AGUA DEL POZO
- BR-01/2 BOMBA DOSIFICADORA DE REACTIVO PARA DISTRIBUCION
- FP-01 FILTRO DE ARENA 1
- FP-02 FILTRO DE ARENA 2
- FP-03 FILTRO DE ARENA 3
- FP-04 FILTRO DE ARENA 4
- TA-01 TORRE DE ABSORCION 1
- TA-02 TORRE DE ABSORCION 2
- TC-01 TANQUE DE CONTACTO CON CLORO
- TD-01 CARGADO DE BOMBA A RED DE DISTRIBUCION
- BR-01/2 BOMBA DE DISTRIBUCION A RED MUNICIPAL
- BR-02 A/B BOMBA DOSIFICADORA DE REACTIVO DESINFECTANTE
- FD-01 A/B TANQUE DOSIFICADOR DE NaOCl

### UNAM FES ZARAGOZA

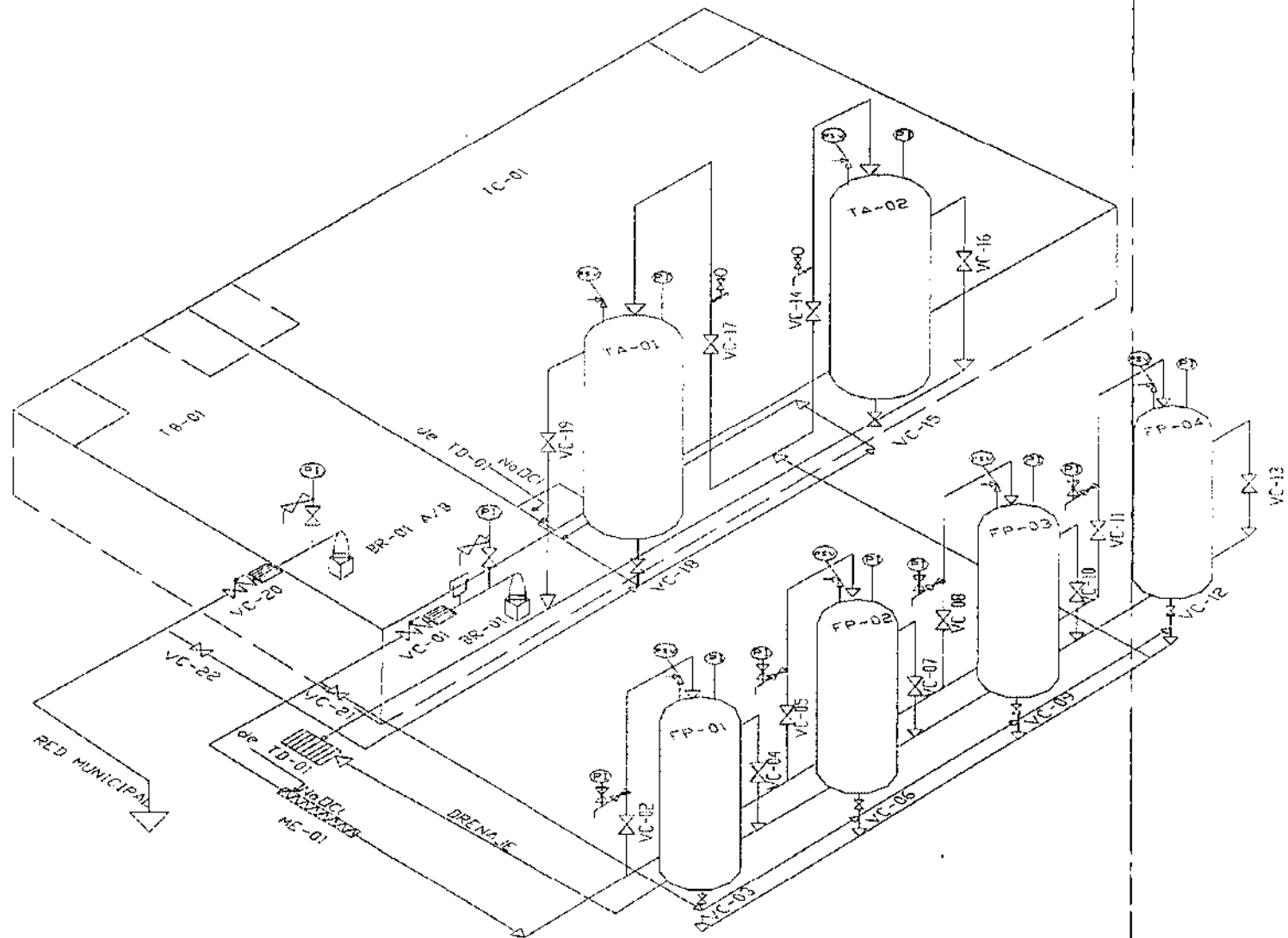
Proyecto:	ESCALA: SIN
INGENIERIA BASICA	PLANO NO: (BP-01)-001
DE PROCESO	NO. DE ARCHIVO:
	FECHA: REV:
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	
PROYECTO	FECHA
DESENHO	FECHA
REVISO	FECHA



- EQUIPO**
- BP-01 BARRA DE DISTRIBUCION DE ALTA VOLTAJE
  - BR-01 BARRA DE DISTRIBUCION DE ALTA VOLTAJE PARA DISTRIBUCION
  - FP-01 FILTRO DE AGUA 1
  - FP-02 FILTRO DE AGUA 2
  - FP-03 FILTRO DE AGUA 3
  - FP-04 FILTRO DE AGUA 4
  - TA-01 TABLERO DE ABRICION 1
  - TA-02 TABLERO DE ABRICION 2
  - TC-01 TABLERO DE CONTACTO CON CLOUD
  - TD-01 TABLERO DE CONTACTO A RED DE DISTRIBUCION
  - ME-01 EQUIPO DE DISTRIBUCION A RED ALIMENTADA
  - FA-01 A 04 TABLERO DE ABRICION DE ALTA VOLTAJE
  - TA-01 A 02 TABLERO DE ABRICION DE ALTA VOLTAJE

UNAM FES ZARAGOZA

Proyecto:	ESCALA:
INGENIERIA BASICA	PLANO: 100/10000
DE PROCESO	NO. DE ARQUEO:
PLANO DE LOCALIZACION GENERAL	FECHA:
PROYECTADO:	FECHA:
DISEÑADO:	FECHA:
REVISADO:	FECHA:



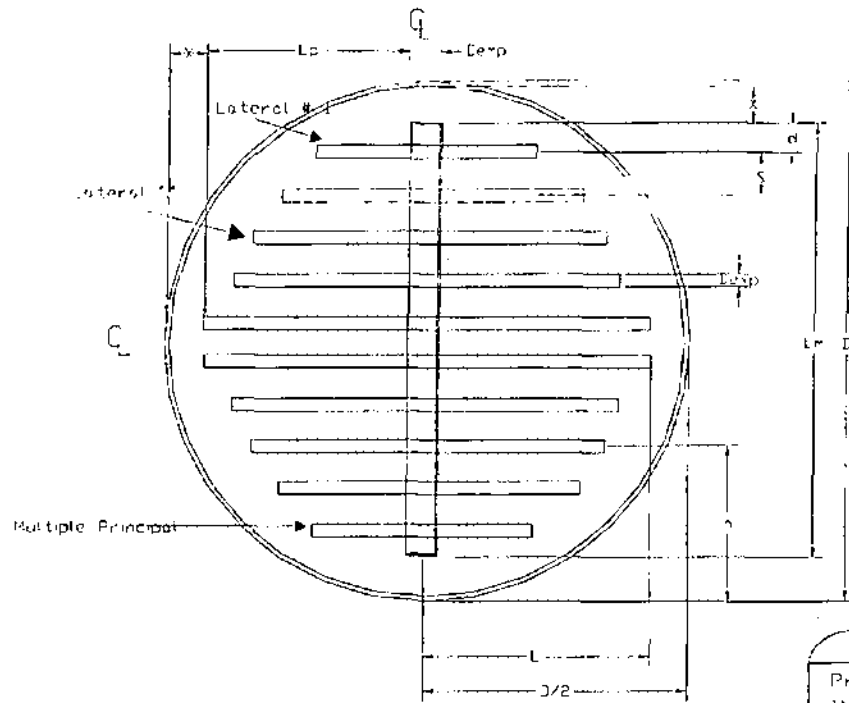
### ACCESORIOS

- INDICADOR DE PRESION CON TOMA DE MUESTRA
- COPLIZ
- VALVULA CHECK
- VALVULA DE COMPUERTA
- CODO 90
- CODO 45
- VALVULA DE RELIEVO
- TANK DE MEZCLADO
- MEZCLADOR ESTATICO
- MEZCLADOR ESTATICO
- INDICADOR DE PRESION

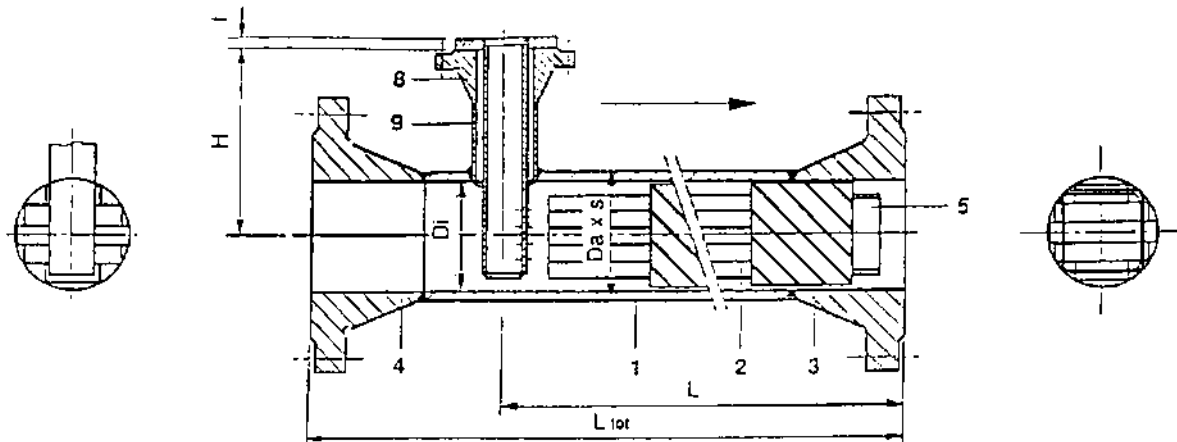
### EQUIPO

- BR-01 BOMBA DE EXTRACCION DE AGUA DEL POZO
- BR-02 A/B BOMBA DOSIFICADORA DE REACTIVO PARA CLORACION
- FP-01 FILTRO DE ARENA 1
- FP-02 FILTRO DE ARENA 2
- FP-03 FILTRO DE ARENA 3
- FP-04 FILTRO DE ARENA 4
- TA-01 TORRE DE ADSORCION 1
- TA-02 TORRE DE ADSORCION 2
- TR-01 TANQUE DE CONTACTO CON CLORO
- TR-02 CARGAMO DE REMBLO A RED DE DISTRIBUCION
- BP-02 BOMBA DE DISTRIBUCION A RED MUNICIPAL
- BR-02 A/B BOMBA DOSIFICADORA DE REACTIVO DESINFECTANTE
- TR-01 A/B TANQUE DESINFECTADOR DE HAZO

UNAM PES GUAYMAS	
PROYECTO	ESCALA 1:1
INGENIERIA BASICA	PLANO No. IMP-150-001
DE PROCESO	No. DE REVISION
PLANO ISOMETRICO	FECHA
PROYECTO	FECHA
DISEÑO	FECHA
REVISIÓN	FECHA



UNAN FES ZARAGOZA	
Proyecto:	ESCALA
INGENIERIA BASICA	PLANO NO 12P-AUS-004
DE PROCESO	NO. DE APROBADO
	FECHA
	RLV
TIPO DE MULTIPLE CON LATERALES	
PROYECTO	FECHA
DIBUJO	FECHA
REVISO	FECHA

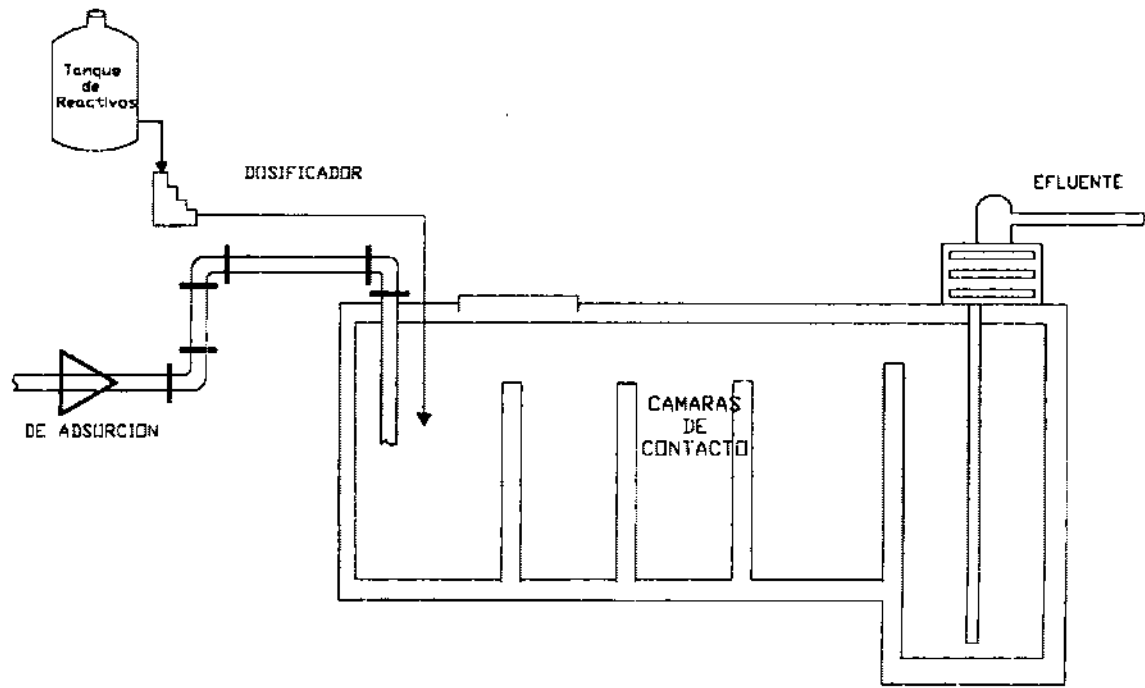


L tot. = \_45" Brida a Brida

Pos	Descripción	Tipo	Material	Datos Generales	
				Parámetro	Cantidad
1	Carcasa	Tubería Céd. 40	Ac. Al Carbón Rec. Teflón	Caudal l/s.	56
2	Elementos	SMVL (3 Pzas. Rem)	PP (Polipropileno)	Presión Op. Kg/cm <sup>2</sup>	3
3,4	Conexiones	Brida plana. 150 #	Ac. Al Carbón Rec. Teflón	Temperatura °C:	20
5	Retención	Barra	PP (Polipropileno)	Densidad Kg/cm <sup>3</sup>	998
8	Conexión Lateral	Tubería con brida 150 #	Ac. Al Carbón.	Viscosidad cP:	
9	Dosificador	Tubería 1"	PP (Polipropileno)	ΔP Máx. perm. Kg/cm <sup>2</sup>	No indica
				ΔP real Kg/cm <sup>2</sup>	0.11

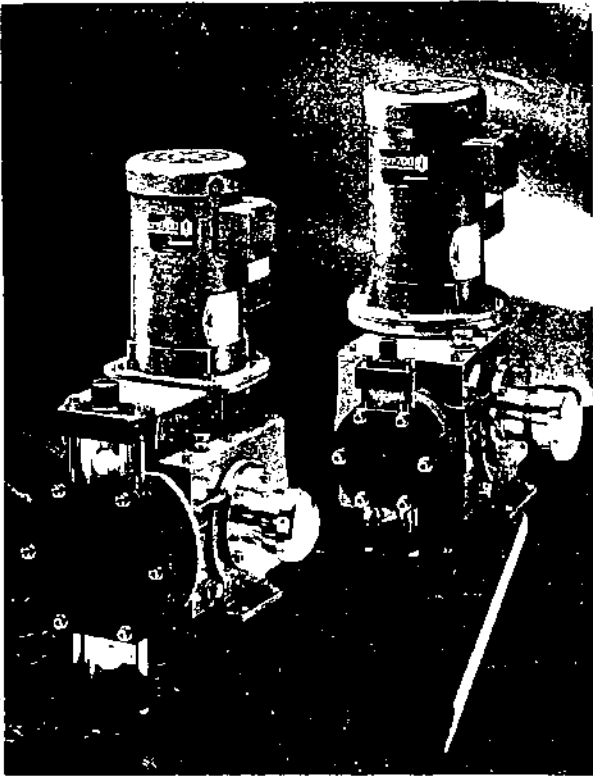
UNAM IFS ZARAGOZA

Proyecto	ESCALA SIN
INGENIERIA BASICA	PLANO NO. (IB-MEZ-00)
EL PROCESO	No. DE ARCHIVO
TIPICO DE MEZCLADOR EN LÍNEA	1000.017
PROYECTO	FECHA
DIBUJO	FECHA
REV 00	FECHA



UNAM FES ZARAGOZA	
Proyecto:	ESCALA SIN
INGENIERIA BASICA DE PROCESO	PLANO No. 10-024-001
	NO. DE ARCHIVO
	FECHA REV
TIPO DE DESINFECCION	
PROYECTO	FECHA
DIBUJO	FECHA
REVISOR	FECHA





# Encore™

44-Series diaphragm metering pump



 WALLACE & TIERNAN®

# SELECCION DE EQUIPOS

# Technical Specification

## CAPACITIES AND DISCHARGE PRESSURES

Liquid End Size	60 Hz 1775 rpm			50 Hz 1450 rpm			Maximum Discharge Pressure psi / bar
	Stroke Frequency strokes/min	Simplex Capacity gal		Stroke Frequency strokes/min	Simplex Capacity gal		
1	36	1.1	4.7	30	1.0	3.9	175 / 12
	72	2.5	9.5	60	2.1	7.9	
	144	5.0	18.9	120	4.2	15.8	
2	36	6.0	22.7	30	5.0	18.9	175 / 12
	72	12.0	45.4	60	10.0	37.9	
	144	24.0	90.8	120	20.0	75.7	
3	36	11.5	43.5	30	9.6	35.3	150 / 10
	72	23.0	87.1	60	19.2	72.5	
	144	46.0	174.1	120	38.3	145.1	
4	36	19.3	72.9	30	16.0	60.7	130 / 9
	72	38.5	145.7	60	32.1	121.4	
	144	77.0	291.4	120	64.2	242.8	
5	36	45.0	170.3	30	37.5	141.9	75 / 5
	72	90.0	340.7	60	75.0	283.9	
	144	180.0	681.3	120	150.0	567.8	



## DIMENSIONS

Liquid end size	A	B	C	D	E
1	2 1/4" (62mm)	8 1/4" (210mm)	6 1/4" (163mm)	1 1/2" (38mm)	16 1/4" (416mm)
2	4" (102mm)	10 1/4" (265mm)	8" (203mm)	1 1/2" (38mm)	18 1/4" (465mm)
3	3 1/4" (86mm)	11 1/4" (289mm)	10 1/4" (265mm)	1 1/2" (38mm)	19 1/4" (491mm)
4	2 3/4" (69mm)	12 1/4" (315mm)	10 1/4" (265mm)	1 1/2" (38mm)	18 1/4" (465mm)
5	3 1/2" (89mm)	15 1/4" (391mm)	12 1/4" (315mm)	1 1/2" (38mm)	19 1/4" (491mm)

This table reflects capacities for direct drive arrangements and pulley drive arrangements at pulley step 4. Capacities at steps 1, 2 and 3 are 25%, 50% and 75% respectively.

- Accuracy:** Repeatable metering accuracy is  $\pm 2\%$  of full scale, at constant hydraulic conditions, over a 10:1 operating range.
- Suction Lift:** The pump will self prime with a 10 foot of water suction lift (wetted valves, zero back pressure, full stroke and speed, water like solutions). Once primed, the pump will operate with a 10 foot of water suction lift. Flooded suction is recommended.
- Materials of Construction:** Gear box and head adapter - cast iron; pump head - PVC and Kynar; suction and discharge valve housings - clear PVC, gray PVC and Kynar; valve balls - 316 stainless, TFE, ceramic, glass and polyurethane (for slurry service); valve seats - Hypalon and Viton; diaphragm - TFE-faced, fabric reinforced, elastomer backed with a steel backing plate; optional mounting base - ABS.
- The pump is UV resistant and suitable for indoor and outdoor service.
- Weight & Shipping Weight:** Single simplex 110 lb, 127 lb (50 kg, 58 kg).  
Double simplex 160 lb, 184 lb (73 kg, 84 kg)



For complete technical data and equipment specifications see publication TI 440-400MA.  
Kynar is a registered trademark of Alkathem North America, Inc.  
Teflon, Hypalon and Viton are registered trademarks of E.I. DuPont Co.

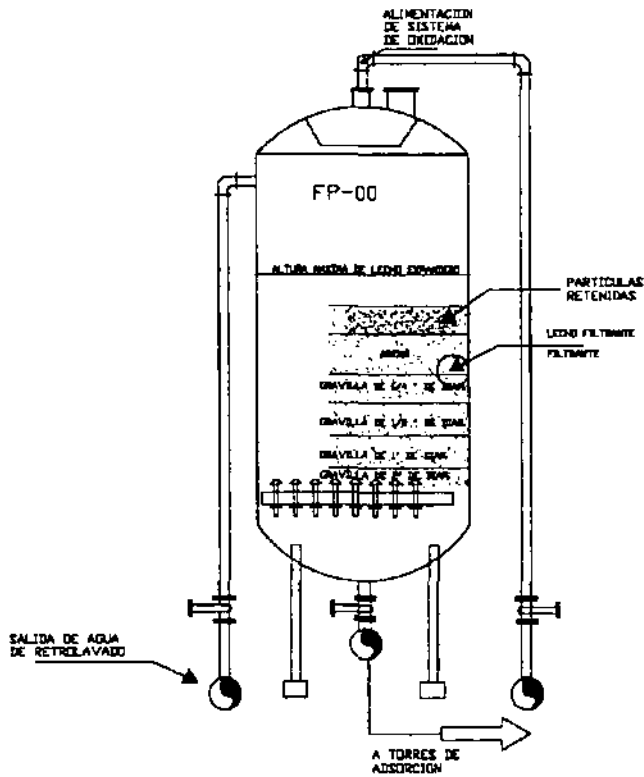
Due to continual product development and improvement, certain specifications may change without prior announcement.



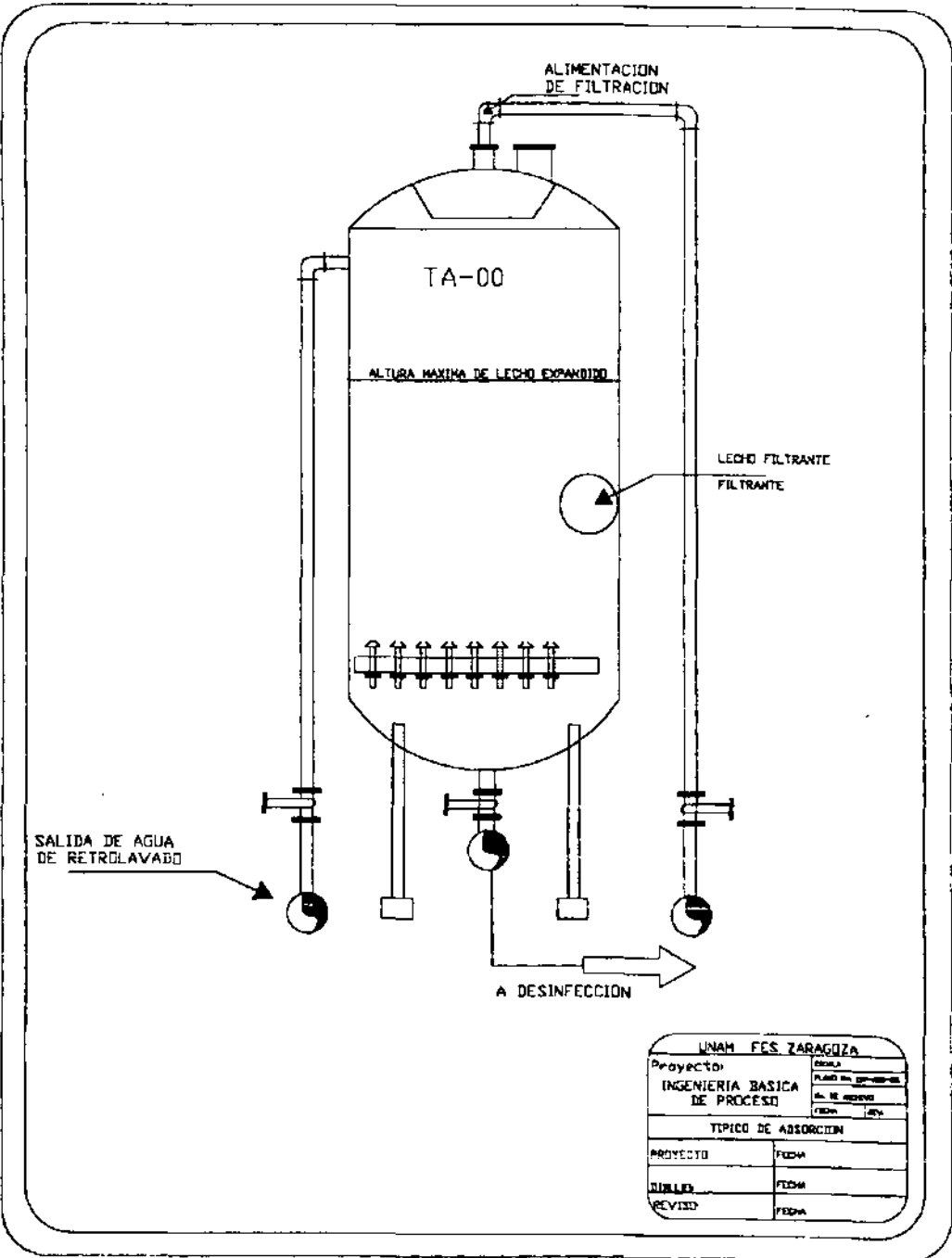
Wallace & Tiernan De Mexico, S.A. de C.V.  
P.O. Box 10000, P.O. Box 101  
Santa Maria Guatemala  
Toluca, Jalisco, Mexico  
51400 MEXICO  
Tel. 52 5 275 51 51-52  
Fax 52 5 275 51 44-51 51

A North West Water Group Company

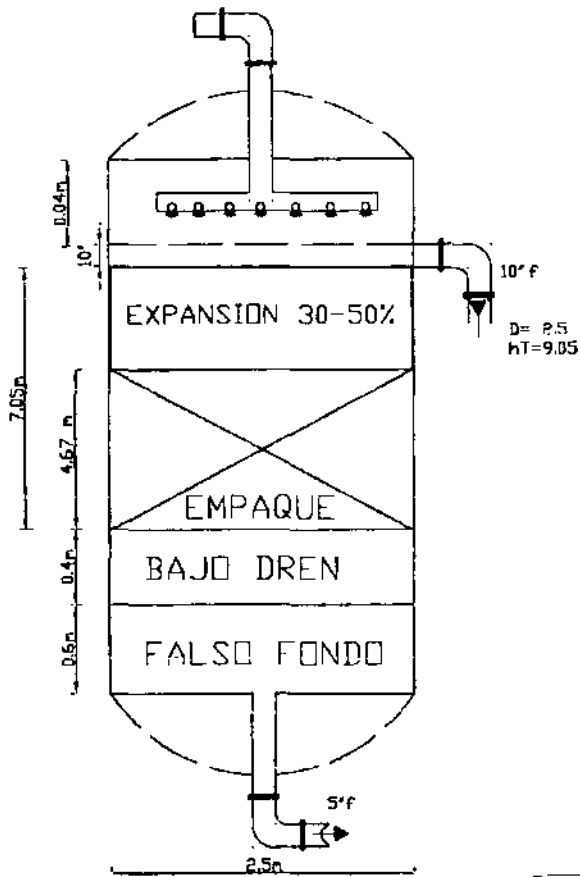
© Wallace & Tiernan 1996



UNAM FES ZARAGOZA	
Proyecto:	ESCALA
INGENIERIA BASICA	PLANO No. 02-FIL-02
DE PROCESO	DR. JOSE ANTONIO
	FECHA REV.
TIPO DE FILTRACION	
PROYECTO	FECHA
DIBUJO	FECHA
REVISOR	FECHA



<b>UNAM FES ZARAGOZA</b>	
Proyecto:	FECHA:
INGENIERIA BASICA DE PROCESO	PLANTILLA: _____
	AL. M. GARCIA
	FECHA: _____
TIPICO DE ASORCCION	
PROYECTO	FECHA
DIBUJOS	FECHA
REVISO	FECHA



UNAM FES ZARAGOZA	
Proyecto:	ESCALA
INGENIERIA BASICA	PLANO No. <u>          </u>
DE PROCESO	No. DE ARBOLITO
	FECHA
	REV.
TIPICO DE ADSORCION	
PROYECTO	FECHA
DIBUJO	FECHA
REVISO	FECHA

# DATOS TECNICOS

MODELOS, CAPACIDADES, CONTRAPRESIONES, TEMPERATURAS, MATERIALES.

TIPO	Nº DE MODELO	CAPACIDAD A ESCALA TOTAL LP H / CABEZAL					CONTRAPRESION MAX 16 PSI	TEMP MAX DEL LUBRIFICANTE	CABEZAL	CUEPPO DE LA VALVULA	VALVULA	MATERIAL DE LA VALVULA	DIAFRAGMA	ANILLO "O"	
		1	2	3	4	5									
		10.5	7	5.5	4.5	3.5									
SOLUCIONES SURVES	22-101	20.8	12.1	7	5.8	3.5	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	ABS	HYPALON	VITON
	22-102	78.7	45	26.7	14.4	7	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	ABS	HYPALON	HYFALON
	22-103	130	77	43.9	24.2	12.5	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	ABS	HYPALON	HYFALON
	22-104	236	138	79.5	43.5	23	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	ABS	HYPALON	HYFALON
	22-105	394	230	134	72.2	35	—	5.25	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	ABS	HYPALON	HYFALON
SOLUCIONES ABRREVIAS	22-201	6.9	4	2.3	1.2	0.75	10.5	5.6	07.2	KYNAR (OPT.)	KYNAR (OPT.)	KYNAR POPPET	KYNAR	CARA DE TFE	VITON
	22-202	20.8	12.1	7	5.8	3.5	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	KYNAR	CARA DE TFE	VITON
	22-203	78.7	45.4	26.7	14.4	7	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	KYNAR	CARA DE TFE	VITON
	22-204	130	77	43.9	24.2	12.5	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	KYNAR	CARA DE TFE	VITON
	22-205	236	138	79.5	43.5	23	—	5.6	—	PVC	PVC	KYNAR POPPET	KYNAR	CARA DE TFE	VITON
SUSPENSIONES	22-301	6.9	4	2.3	1.2	0.75	—	5.6	—	PVC	PVC	CANICAS DE POLIURETANO	CERAMICA	HYPALON	VITON
	22-302	20.8	12.1	7	5.8	3.5	—	5.6	—	PVC	PVC	CANICAS DE POLIURETANO	CERAMICA	HYPALON	VITON
	22-303	78.7	45.4	26.7	14.4	7	—	5.6	—	PVC	PVC	CANICAS DE POLIURETANO	CERAMICA	HYPALON	VITON
	22-304	130	77	43.9	24.2	12.5	—	5.6	—	PVC	PVC	CANICAS DE POLIURETANO	CERAMICA	HYPALON	VITON
	22-305	236	138	79.5	43.5	23	—	5.6	—	PVC	PVC	CANICAS DE POLIURETANO	CERAMICA	HYPALON	VITON

A SUSTITUYASE LA Y EN EL Nº DEL MODELO POR 1 PARA LOS DOSIFICADORES DE 1 CABEZAL PARA LOS EQUIPOS DE 2 CABEZALES SUSTITUYASE LA Y POR 2 EN EL Nº DEL MODELO.  
 EN LOS CABEZALES DE LAS SUSPENSIONES LAS GUIAS DE LAS VALVULAS SON DE URETANO O DE ACERO INOXIDABLE.  
 NOTA: VER EN CAT 400.DD SELECCION DE DOSIFICADOR Y DATOS DE DISEÑO DEL SISTEMA.

DIAFRAGMA	JUEGO DE ENGRANES	FRECUENCIA DE GOLF	CAPACIDAD						POTENCIA DEL MOTOR A MAX FRECUENCIA DE GOLF					
			1 CABEZAL			2 CABEZALES			CONTRAPRESION MAX					
			LP	GPH	LPD	GPD	LP	GPH	LPD	GPD	5.5	10.5		
33 mm (1.315")	BAJA VELOCIDAD	12	28	0.337	30	0.1	23	0.75	41	16.2	1.5	1.0	0.8	0.5
		22	23	0.62	56	14.9	47	124	112	29.8				
		55 MAX	4	1.07	97	25.7	8	2.14	194	51.4				
	ALTA VELOCIDAD	36	3.5	1.07	98	24.4	12	2.03	184	48.8				
		55	7	1.86	169	44.7	14	3.72	336	89.4				
		100	12	3.21	290	77	24	6.42	389	104.2				
76 mm (2.992")	BAJA VELOCIDAD	12	14.5	3.83	348	92	29	7.64	496	184	1.5	1.0	0.8	0.5
		22	27	7.08	643	170	53	14.1	287	340				
		55 MAX	25	12	1097	280	91	24.1	295	580				
	ALTA VELOCIDAD	36	45	11.5	1048	272	87	23	2096	334				
		55	80	21.1	1919	507	160	42.3	3958	1014				
		100	138	36.3	3313	877	276	73	6658	1704				
107 mm (4.213")	BAJA VELOCIDAD	12	24	61.4	582	154	48	11.8	1164	308	1.5	1.0	0.8	0.5
		22	44	11.6	1080	280	88	23.3	2120	560				
		55 MAX	77	20.4	1854	490	134	40.8	3709	980				
	ALTA VELOCIDAD	36	12	19.1	1741	460	144	38.3	3482	920				
		55	134	35.4	3217	850	268	70.8	6454	1700				
		100	230	60.8	5524	1460	460	121.8	10572	2820				

SE PUEDE USARSE 1/4" HP SCR SI EL DOSIFICADOR NUNCA OPERARA SOBRE LOS 100 PSI

... INDUCCION Y 1500"



0681 2003-2

Mezclador Sulzer SMV para mezclas de líquidos poco viscosos u homogeneización de gases.



0681 2038

Mezclador Sulzer SMV en PVDF para mezclas de líquidos corrosivos y contacto de gases con líquidos.



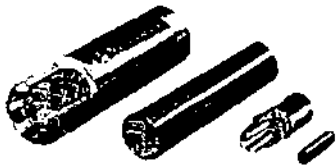
0682 2005-1

Repleno Mezclador Sulzer SMVP fabrica de polipropileno para columnas de extracción y burbujeo.



0685 2048

Mezclador Sulzer SMX con encamisado y punto de alimentación para mezclas de aditivos poco viscosos con soluciones de polímeros y fundidos.



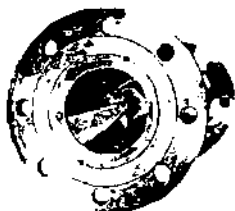
0683 2025

Homogeneización de plásticos fundidos con el Mezclador Sulzer SSMX (IZDA) en extrusión y con la Cabeza de Mezcla SMK-X (DCHA) en moldes por inyección.



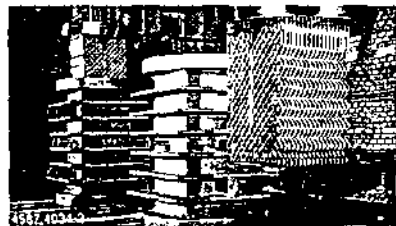
0683 2010

Mezclador-Cambiador de calor monotubo para temperatura sensible, fluidos viscosos



4587 4002

Mezclador Sulzer SMF para mezclar fluidos que puedan obstruir, por ej. líquidos que contienen fibras o partículas grandes.



Mezclador-Reactor Sulzer SMR para controlar la temperatura en reacciones químicas, p. ej.: en la polimerización de estireno.



Sulzer Chemtech S.A.  
Mass Transfer  
P.O. Box 1000

Entregado por: